



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

OVĚŘENÍ DOSAŽENÍ POŽADOVANÉ SEKVENCE VÝROBKŮ PŘI PRŮCHODU OBLASTÍ LAKOVNY POMOCÍ SIMULAČNÍHO MODELU

VERIFICATION OF THE DESIRED SEQUENCE OF PRODUCTS PASSING THROUGH AREAS OF
PAINT SHOP USING A DISCRETE EVENT SIMULATION MODEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. STANISLAV MÁČALA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MIROSLAV ŠKOPÁN, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Stanislav Máčala

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

**Ověření dosažení požadované sekvence výrobků při průchodu oblastí lakovny pomocí
simulačního modelu**

V anglickém jazyce:

**Verification of the desired sequence of products passing through area of paint shop using a
discrete event simulation model**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vytvoření simulačního modelu dopravníkové techniky a logiky řízení pro tvorbu požadovaných sekvencí výrobků (karoserií) před vstupem do lakovny.

Cíle diplomové práce:

Na základě provedené systémové analýzy dopravníkové techniky a navrhované logiky řízení materiálového toku pro zajištění požadované sekvence karoserií vstupujících do oblasti lakovny vytvořte simulační model tohoto systému s použitím software Plant Simulation.

Pomocí základních charakteristik materiálového toku a analýzy průchodů karoserií zvolenými úseky validujte simulační model.

Navrhněte matici simulačních experimentů za účelem vyhodnocení dodržení cílových hodnot stanovených charakteristik materiálového toku. Výsledky simulačních experimentů vyhodnoťte.

Při vlastní tvorbě modelu a vyhodnocování dat využijte softwarové nástroje používané ve společnosti Škoda Auto.

Seznam odborné literatury:

- 1._Štoček, J.: Optimalizace materiálového toku ve vybraném průmyslovém závodě, Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně, FSI VUT v Brně 2004, ISBN.: 80-14-2885-6 [doktorská práce].
- 2._BANKS .., Jerry.. Discrete-event system simulation. 5th ed., International version. Upper Saddle River, N.J: Pearson Education, 2009. ISBN 978-013-8150-372.
- 3._LAW, Averill M. Simulation modeling and analysis. 4. ed., internat. ed. Boston [u.a.]: McGraw-Hill, 2007. ISBN 00-712-5519-2.
- 4._ZEIGLER, Bernard P. Theory of modelling and simulation. New York: Wiley, c1976, xxii, 435 p. ISBN 04-719-8152-4.
- 5._BANGSOW, Steffen. Use cases of discrete event simulation: appliance and research. 1st ed. New York: Springer, 2012, p. cm. ISBN 978-364-2287-763.
- 6._Uživatelské manuály a příručky software Plant Simulation a APP

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 11.11.2013

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.

Děkan fakulty



ABSTRAKT

Obsahem této diplomové práce je vytvoření simulačního modelu zásobníku na tvorbu barevných bloků karoserií procházejících jím před oblastí nástřiku vrchního laku v lakovně ve ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi. Simulační model je vytvořen v softwaru Plant Simulation od společnosti Siemens PLM Software. Součástí práce je systémová analýza dopravní techniky řešené oblasti a návrh jejího možného rozšíření. Pomocí simulačního modelu je testováno, zda by plánované rozšíření mělo pozitivní vliv na důležité charakteristiky výroby v dané oblasti a z těchto experimentů jsou vyvozeny patřičné závěry.

KLÍČOVÁ SLOVA

Simulace, logika řízení, sekvence výrobků, experiment, Plant Simulation.

ABSTRACT

Goal of this diploma thesis is to create discrete simulation model of a buffer for sorting cars by their color in order to create bigger color blocks in front of upper paint area in paintshop of ŠKODA AUTO a.s. in Mladá Boleslav. Simulation model is created in Plant Simulation software produced by Siemens PLM Software company. Section of this diploma thesis is paid to system analysis of conveyors used in solved area and to suggestion of planned modifications. It is tested by simulation model whether the planned modifications would have positive effect on production characteristic in concern area. Conclusions are deduced from mentioned experiments.

KEYWORDS

Simulation, control logic, sequence of products, experiment, Plant Simulation.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MÁČALA, S. Ověření dosažení požadované sekvence výrobků při průchodu oblastí lakovny pomocí simulačního modelu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 66 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslava Škopána, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 30. května 2014

.....
Bc. Stanislav Máčala



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, panu doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc. za cenné rady v průběhu celého studia.

Dále bych chtěl poděkovat všem kolegům z oddělení Simulace v plánování výroby ve ŠKODA AUTO a.s. za ochotu a cenné poznatky při vykonávání praxe a následném zpracování diplomové práce.

Poděkování patří rovněž mé přítelkyni Markétě, která při mě vždy stála a ve všem mi byla oporou, a také mé a její rodině za trpělivost při studiu.



OBSAH

Úvod	10
1 Cíl diplomové práce	11
2 Teoretický přehled	12
2.1 Materiálový tok.....	12
2.1.1 Operace s materiálovým tokem.....	13
2.1.2 Optimalizace materiálového toku	14
2.2 Dopravní technika	15
2.2.1 Válečková trať	17
2.2.2 Příčný pásový dopravník	18
2.2.3 Příčný přesuvný dopravník.....	19
2.2.4 Kyvný a otočný stůl	20
2.2.5 Zvedací zařízení	21
2.3 Simulace	22
2.3.1 Základní pojmy.....	22
2.3.2 Využití simulací	23
2.3.3 Proces vytvoření simulačního modelu	24
2.3.4 Experimentování	26
2.3.5 Práce s výsledky a dokumentace	26
2.4 Software Plant Simulation	27
2.4.1 Knihovna tříd.....	29
2.4.2 Panel nástrojů	30
2.4.3 Pracovní okno	30
2.4.4 Konzola.....	30
3 Analýza řešené oblasti.....	31
3.1 Evidenční body	31
3.2 Identifikace karoserí	31
3.2.1 Identifikační číslo KNR (Kennummer).....	31
3.3 Řídící systém FIS.....	32
3.4 Popis současného stavu	32
3.4.1 Před řešenou oblastí – Linka plniče a linka sušení	32
3.4.2 Řešená oblast – Zásobník na tvorbu barevného bloku	33
3.4.3 Za řešenou oblastí – Linka vrchního laku	34
3.5 Analyzování dat	34
3.6 Software APP	34
3.6.1 Typy analýz.....	35
3.6.2 Použití v simulačním software Plant Simulation	35
3.7 Barevný blok	36



4	Návrh řešení	37
4.1	Důležité body	37
4.2	Současný stav zásobníku	38
4.2.1	Pojmový model	38
4.2.2	Logika řízení zásobníku	39
4.2.3	Simulační model	40
4.3	Validace simulačního modelu	44
4.4	Plánované rozšíření zásobníku	45
4.4.1	Majoritní barva	46
4.4.2	Pojmový model rozšířeného zásobníku	47
4.4.3	Logika řízení rozšířeného zásobníku	48
4.4.4	Simulační model rozšířeného zásobníku	49
4.5	Výstup ze zásobníku	51
4.5.1	Dynamické plnění zásobníku	53
4.5.2	Maximální plnění zásobníku	53
4.6	Experimenty	54
5	Shrnutí výsledků	55
5.1	Barevný blok	55
5.2	Seřízení na pracovišti za zásobníkem	56
5.3	Třídění do větví na vstupu do zásobníku	57
5.4	Celkové shrnutí	58
	Závěr	59
	Seznam použitých zdrojů	60
	Seznam použitých zkratk, symbolů a veličin	61
	Seznam zkratk a symbolů	61
	Seznam veličin	62
	Seznam obrázků a tabulek	64
	Seznam obrázků	64
	Seznam tabulek	65
	Seznam příloh	66
	Přílohy	I



Úvod

V dnešní době ve vyspělých zemích jsou lidé v neustálém spěchu. V životě je od nich očekáváno mílovými kroky plnit společenské cíle (vzdělání, práce, rodina...). V zaměstnání jsou od nich vyžadovány kvalitní pracovní výsledky, a to pokud možno co nejrychleji. To se odráží na běžném myšlení lidí. V této zrychlené době jsme si zvykli, že téměř všechno lze získat bez výrazného čekání. Tomuto myšlení se musí podřídit za udržení konkurenceschopnosti i společnosti prosperující na prodeji svých výrobků, a proto se snaží co nejefektivněji pracovat.

Ve výrobních společnostech vznikají oddělení zaměřující se na jednotlivé oblasti jako je ekonomika, prodej a marketing, výroba, vývoj atd. Plánování výroby, které se zabývá optimalizací výroby a výrobních procesů, zefektivnění směnových režimů, zlepšení rozdělení zdrojů a zvýšení produktivity, patří do oblasti výroby. Stále více společností začíná pracovat se výrobními strategiemi, jako jsou JIT¹ nebo JIS², kdy dochází ke snížení skladových zásob na požadované minimum.

V automobilovém průmyslu plní plánovací oddělení neodmyslitelnou roli již delší dobu. Má důležitou funkci, neboť se zde plánuje na několik let dopředu a výroba na takové změny musí být připravena. Každé zastavení výroby vytváří obrovské finanční ztráty. Členitost výroby je v dnešní době tak složitá, že každá sekce výroby má svoje oddělení i v plánování výroby. Je však důležité být v kontaktu i s ostatními odděleními a vše diskutovat. Různá oddělení se potýkají s různými problémy, ale jejich cíl je vždy stejný – zlepšení výroby a úspora peněz. Každodenní prací plánování je vymýšlet (testovat, zapracovávat) návrhy, jak by se mohl výrobní proces zlepšit.

V případech, kdy není možné návrhové změny testovat v reálném provozu, nebo kdy by takové testování vedlo k nepřiměřeným nákladům a ztrátám, přichází na řadu simulace těchto návrhů. Pomocí simulací lze jakékoli změny ve výrobě (dopravní techniky, logiky řízení, atd.) testovat, a to bez nutnosti zastavení probíhající výroby. Je zde také možnost testovat výrobní systémy, které v danou chvíli ještě neexistují. Výsledky simulací poté potvrzují nebo vyvrací jejich vhodnost. U simulací rozsáhlejších oblastí lze zjistit závislosti mezi jednotlivými pozicemi, které by jindy nebyly zřejmé. Naskýtá se zde tedy určitá flexibilita a možnosti, které jindy nepřichází v úvahu.

¹ Just in time je výrobní strategie, která se zabývá výrobou pouze nezbytně nutného počtu kusů výrobků v co možná nejpozdějším čase a v požadované kvalitě. [1]

² Just in sequence, je modifikací systému JIT. Výrobky putují na místo dodání v přesně daném pořadí, v jakém budou zpracovány. [1]



1 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je vytvořit simulační model oblasti vrchního laku v lakovně ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi a na něm testovat, jaký dopad bude mít rozšíření dopravní techniky, dle plánovaného projektu, na dodržení požadované sekvence karoserií. Sekvence je hodnocena pomocí velikosti barevného bloku, která je pro tuto oblast stěžejním ukazatelem. Zmíněná dopravní technika v tomto případě plní funkci zásobníku.

K vytvoření požadovaného modelu je nezbytné provést systémovou analýzu dopravní techniky a na jejím základě vypracovat simulační model. Po dokončení simulačního modelu je potřeba jej validovat a verifikovat, tedy ujistit se, že se liší od originálu o stanovenou toleranci. Validace se proto provede na datech získaných z výroby. Pokud je model validní, bude dodávat se stanovenou tolerancí stejné výsledky, jaké nastaly ve skutečnosti.

Po úspěšné validaci simulačního modelu je možné přejít k jeho testování. K tomu je nutné vytvořit matici experimentů, která stanovuje, jak a které proměnné se budou měnit a jaké veličiny při těchto změnách budou sledovány. Tyto experimenty je nutno poté vyhodnotit a zvolit nejvýhodnější variantu z hlediska velikosti barevného bloku.



2 TEORETICKÝ PŘEHLED

Následující kapitola uceluje teoretické informace o prvcích, které byly využity k vypracování této práce. Přibližuje pojem a problematiku materiálového toku, který je v této diplomové práci řešen výhradně pomocí simulací. Následně je nastíněna jeho optimalizace. Také je zde zmíněna dopravní technika, která se vyskytuje v automobilovém průmyslu. A nakonec je popsána diskrétní simulace, její možnosti a software Plant Simulation.

2.1 MATERIÁLOVÝ TOK

Materiálový tok je pohyb materiálu ve výrobním procesu, který je zajištěn pomocí aktivních prvků tak, aby byl nepoškozen, v požadovaném množství, v určitý okamžik na daném místě, a to s předem zvolenou spolehlivostí. [2]

Aktivními prvky jsou v materiálovém toku myšleny prostředky, jimiž je materiál dopravován mezi jednotlivými pracovišti, halami nebo areály. Nejčastěji se jedná o manipulační, dopravní, přepravní a pomocné prostředky. Opakem aktivních prvků jsou prvky pasivní. Pod tímto termínem je možno si představit všechny materiál, který je nutno někam přepravit, přeložit, skladovat nebo nějakým dalším způsobem s ním manipulovat. Materiál může nabývat všechna skupenství a může se jednat o polotovary, rozpracovaný nebo hotový výrobek, či jeho odpad. [3]

Materiálový tok je popsán [4]:

- druhem materiálu,
- množstvím materiálu M_{kus} , M_{hmot} , M_{objem} ,
- dráhou s a
- časem t .

Druh materiálu popisuje, zda se jedná o kusový, sypký, kapalný nebo plyný materiál. Množství materiálu lze vyjádřit několika způsoby: kusové materiály v manipulačních jednotkách [ks], sypké materiály se vyjadřují v hmotnostních jednotkách [kg] nebo objemových jednotkách [m^3] a kapalně a plynné materiály v objemových jednotkách [m^3]. Dráha materiálu je dána celkovou trasou materiálu mezi vstupním a výstupním bodem a udává se v metrech [m]. Čas materiálového toku je doba trvání pohybu materiálu ze vstupu do výstupu v sekundách [s]. [4]

Z těchto hodnot lze poté vypočítat hodnotu intenzity materiálového toku, podle vzorce [4]:

$$I(t) = \frac{dM}{dt} [kg \cdot s^{-1}] \quad (2.1)$$

kde: dM – elementární množství materiálu;
 dt – elementární čas.

Jednotka intenzity je poté dána podle dosazené jednotky množství, pro [4]:

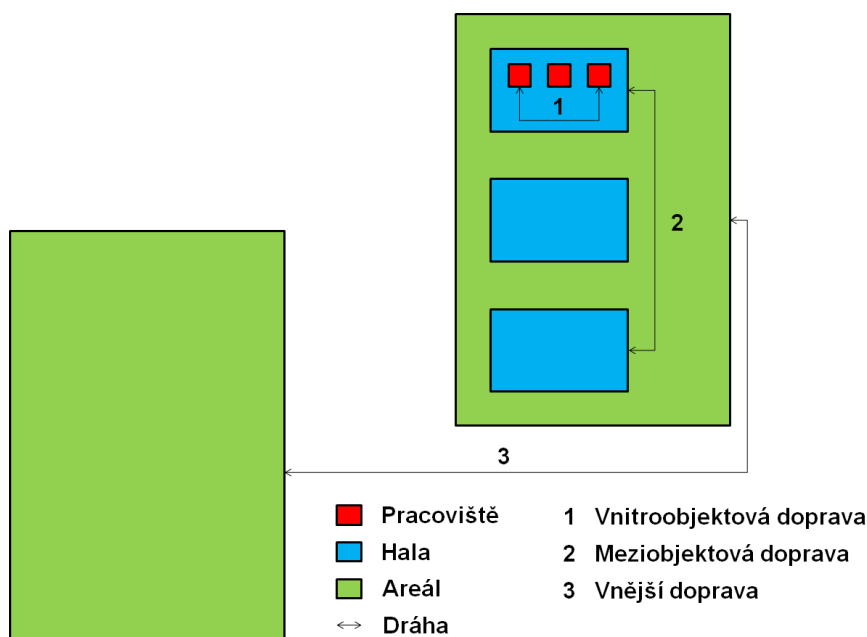
- kus $I_{kus} [ks \cdot s^{-1}]$,
- hmotnost $I_{hmot} [kg \cdot s^{-1}]$ a
- objem $I_{objem} [m^3 \cdot s^{-1}]$.



2.1.1 OPERACE S MATERIÁLOVÝM TOKEM

Veškeré operace s materiálovým tokem lze rozdělit do jednotlivých skupin. Zde následuje výčet těch základních [3]:

- Prvními jsou **technologické operace**, jež jsou souhrnem všech operací na finálním výrobku v procesu jeho vytváření.
- Mezi těmito technologickými operacemi dochází k **mezioperační manipulaci**, kdy se materiál přesunuje mezi pracovišti.
- Po dokončení výrobního procesu nastává **balení**. Balicí operace zabezpečují produkt (materiál) před jeho poškozením. Plní také informační funkci, kdy jsou na obalu vypsány všechny důležité informace. Pro menší výrobky je vhodné vytvářet optimální manipulační jednotku ke zrychlení a zhospodárnění manipulace, např. paleta nebo kontejner. Obal v tomto případě uceluje manipulační jednotku.
- Právě vytváření optimálních manipulačních jednotek má kladný dopad i na **skladové operace**. Ty sjednocují všechnu manipulaci s materiálem v rámci jeho uskladnění nebo vyskladnění. Vytvořením manipulačních jednotek se zvyšuje využití skladových ploch.
- **Ložné operace** se skládají z plnění nebo vyprazdňování přepravních prostředků a také z nakládky, vykládky a překládky materiálu.
- **Přepravní operace** jsou přesunem materiálu z bodu A do bodu B a dělí se na následující:
 - vnitroobjektová (Obrázek 2.1, dráha 1) – popisuje dopravu materiálu z jednoho pracoviště na druhé v jednom objektu (výrobní hale),
 - meziobjektová (Obrázek 2.1, dráha 2) – zde je materiál přepravován v rámci areálu mezi jednotlivými objekty,
 - vnější (Obrázek 2.1, dráha 3) – v tomto případě se jedná o přemístění materiálu mezi jednotlivými závody s využitím veřejné infrastruktury. Tato doprava může být provedena pomocí automobilové, železniční, letecké nebo lodní dopravy a
 - technologická – může být meziobjektová nebo vnější. Oproti předchozím se odlišuje technologickou operací probíhající za přesunu (např. domíchávač, který převáží beton).
- A nakonec **pomocné operace**. Zde je možno zařadit operace, které napomáhají a zlepšují chod materiálového toku (např. přípravné operace, identifikace, sledování, čištění, kontrola aj.).



Obrázek 2.1: Typy přeprav
[zdroj: vlastní]

2.1.2 OPTIMALIZACE MATERIÁLOVÉHO TOKU

Optimalizace se používá pro výpočet nejvýhodnějšího využití zdrojů (lidí, času, stroje, materiálu, aj.) za daných podmínek potřebných k získání požadovaných výsledků. Těmito požadovanými výsledky může být například minimalizování nákladů nebo pracovního času či naopak maximalizování zisku nebo výrobní kapacity. Využití optimalizace je omezeno nedostatkem informací a času k vyhodnocení ideální varianty. [3]

Při vytváření materiálového toku v procesu plánování je nalezení optimální cesty jedním z nejdůležitějších bodů. Dochází zde ke značným omezením. Za optimalizaci lze považovat výběr z několika technicky realizovatelných variant, které jsou předloženy k projednání, přičemž tyto se skládají z již otestovaných technických prvků s určitým standardizovaným nastavením. Může nastat situace, kdy nejvýhodnější variantou z hlediska produkce by bylo nechat si na zakázku vyrobit zcela specifické zařízení. To by bylo ovšem finančně nákladnější, než zvolit sériově vyráběný stroj, a proto se hledá kompromis (například pomocí multikriteriální analýzy) mezi několika hledisky (charakteristika výrobku, použitá technologie, čas realizace, služby, náklady a požadavky na flexibilitu). Multikriteriální analýza spočívá v bodovém hodnocení (4 až 0) jednotlivých kritérií mezi navrhovanými variantami, kdy každému kritériu je přiřazena hodnota závažnosti od nejvýznamnější (10) po nedůležitou (1). Následně je vynásobeno bodové hodnocení s hodnotou závažnosti a součet těchto násobků je výsledkem hodnocení varianty. Zvolená varianta, ta s nejvyšším ohodnocením, nemusí být ve všech hlediscích ta nejlepší, ale z celkového pohledu musí být nejvýhodnější. [3]

Optimalizace nachází největší využití při sériové až hromadné výrobě, v níž dochází k opakování stejných operací. V takovém případě může i nepatrná změna vést k velkým úsporám. Úspory u materiálového toku mohou být způsobeny vhodným [3]:



- rozmístěním výrobních objektů,
- situováním skladových ploch,
- prostorovým uspořádáním pracovních míst, strojů a zařízení,
- technickým navržení dopravní techniky a skladovacího systému a
- zvolením manipulační jednotky.

Správným navržení materiálového toku lze dosáhnout [3]:

- jednotného směru toku (bez křížení a zpětného pohybu),
- eliminace nadbytečné manipulace,
- zkrácení dopravní vzdálenosti a
- zajištění plynulosti materiálu.

2.2 DOPRAVNÍ TECHNIKA

Dopravní zařízení je zařízení určené k vodorovnému a svislému přemísťování nákladu, který je na zařízení přiveden jiným mechanismem nebo ručně, při přemísťování se obvykle nemění jeho fyzikální vlastnosti a struktura. Podstatná část zařízení je v klidu, pohybuje se náklad a část zařízení – unášecí prostředek. [5]

Dopravní technika najde využití téměř v každém průmyslovém odvětví. Není tomu jinak ani v automobilovém průmyslu, jenž by se bez dopravníků neobešel. Jelikož je oblast dopravníků značně rozsáhlá, jsou zde popsána pouze ta dopravní technika, která má využití v této diplomové práci.

Karoserie ve výrobě se mohou dopravovat dvěma způsoby [3]:

- Skidová doprava – karoserie je uložena na skidu³ (Obrázek 2.2) a ten je pomocí pásových, válečkových nebo řetězových dopravníků posouván. Jedná se o pozemní dopravu.



Obrázek 2.2: Vlevo skid a vpravo skid s karoserií
[zdroj: [6]]

³ Skid je prostředek rámové konstrukce pro dopravu karoserií pomocí pásových, válečkových nebo řetězových dopravníků. [3]



- Závěsová doprava⁴ – může být poháněná, kdy je závěs pevně připevněn k poháněnému zařízení (např. lanovka připevněná k lanu), nebo s vlastním pohonem (např. EHB⁵ dopravníky v automobilovém průmyslu). Obrázek 2.3 vlevo zobrazuje EHB závěs typu C, který dovoluje manipulaci s dveřmi u zavěšené karoserie, a vpravo je EHB závěs na dveře karoserie. Karoserie je zavěšena na závěsu v určité výšce a ten se pomocí vlastního pohonu pohybuje po dopravní trase. Závěsový dopravník může být použit pro přesun karoserií mezi výrobními halami, nebo v případech, kdy to montážní nebo technologické operace vyžadují. Používá se v případech, kdy je potřeba provádět technologické operace na spodní části karoserie.



Obrázek 2.3: Závěsové dopravníky typu EHB

[zdroj: [6]]

K lepší manipulaci je možné využít nastavitelných EHB (Obrázek 2.4). Vlevo se jedná o výškově nastavitelné EHB a vpravo jde o otočné EHB.



Obrázek 2.4: Nastavitelné EHB

[zdroj: [6]]

⁴ Závěsový dopravník je podvěsný dopravník, jehož náklad se pohybuje pod nosným břemenem a jehož unášecím prostředkem jsou závěsy, na kterých je uložen náklad, obvykle kusová břemena. [5]

⁵ Zkratka vychází z německého Elektrohängebahn. Jedná se o závěs s vlastním pohonem zavěšený na jednokolejné dráze. [7]



2.2.1 VÁLEČKOVÁ TRATĚ

Válečková trať je tvořena soustavou otočných válečků, na kterých spočívá dopravovaný materiál. Tyto válečky jsou uloženy v rámu tratě a mohou být bez nuceného pohybu – gravitační, nebo s vlastním pohonem – poháněná (Obrázek 2.5). Hnací silou poháněných válečkových tratí je stykové tření mezi válečkem a předmětem. U gravitačních válečkových tratí se využívá hmotnosti dopravovaného materiálu. [8]

V automobilovém průmyslu se používá pro dopravu skidů v přímém směru výhradně poháněných válečkových tratí. K pohonu válečkových tratí je možné využít motoru bez nebo s frekvenčním měničem. Výhoda použití frekvenčního měniče spočívá v možnosti plynulé změny rychlosti v daném rozmezí od jednotek až ke stu metrům za minutu oproti konstantní rychlosti v desítkách metrů za minutu bez frekvenčního měniče. Válečková trať je složena z dílčích válečkových drah. Ty mohou být standardní, které délkově odpovídají dopravovanému skidu, nebo mohou být zkrácené. Ve chvíli, kdy není docíleno požadované délky, nastává zde možnost prodloužení válečkové tratě pomocí podpěrných kladek. Pokud se jedná o standardní válečkové tratě, je zde možnost skidy na jednotlivých pozicích – drahách – zastavovat, a tím vytvořit FIFO⁶ zásobník. [3]



Obrázek 2.5: Válečková trať

[zdroj: [6]]

⁶ FIFO zásobník je zásobníkem, který zachovává pořadí na výstupu takové, jaké bylo na vstupu. Zkratka FIFO z anglického „First In First Out“ znamená, že „co první vstoupí, také první vystoupí“. [7]

Opakem FIFO zásobníku je zásobník LIFO. Opět z anglického „Last In First Out“ lze přeložit jako „co poslední vstoupilo, jako první odchází“. [7]



2.2.2 PŘÍČNÝ PÁSOVÝ DOPRAVNÍK

Nachází využití při potřebě přesunutí skidu do jiných větví v jedné výškové rovině (Obrázek 2.6). Skid je přesouván mezi dvěma (a více) pozicemi se zvedacími stoly pomocí dvou gumových pásů. Jelikož se přesouvá pouze skid mezi těmito stoly, je zde možnost obsazení vstupní i výstupní pozice zároveň, čímž lze zvýšit zaskladnění karoserií na malém prostoru. Jeho pracovní cyklus lze rozdělit do pěti fází [3]:

1. Najetí skidu s karoserií na excentrický stůl ve vstupní větvi, který je připraven v horní pozici na příjezd karoserie.
2. Excentrický stůl se spustí dolů a skid s karoserií spočívá na dvou pásech.
3. Přesunutí skidu s karoserií do výstupní větve pomocí pásů a vrácení excentrického stolu ve vstupní větvi do původní pozice.
4. Nadzvednutí excentrického stolu se skidem s karoserií ve výstupní větvi a vyjetí z přesuvného stolu.
5. Návrat excentrického stolu zpět do původní pozice.



Obrázek 2.6: Příčný pásový dopravník
[zdroj: [6]]



2.2.3 PŘÍČNÝ PŘESUVNÝ DOPRAVNÍK

Další možností příčného přesunutí mezi vstupy a výstupy válečkových tratí je příčný přesuvný dopravník nebo také příčný přesuvný stůl (Obrázek 2.7). Na rozdíl od příčného pásového dopravníku se liší tím, že může být obsazen vždy jen jednou karoserií. Dosahuje ovšem vyšších rychlostí a je výrobně jednodušší. Jeho pracovní cyklus lze rozdělit do čtyř fází [3]:

1. Najetí skidu s karoserií na přesuvný stůl, který nachystán ve vstupní pozici, a jeho zajištění.
2. Přesunutí stolu se skidem do výstupní větve.
3. Vyjetí skidu s karoserií z přesuvného stolu.
4. Návrat přesuvného stolu zpět do vstupní větve.

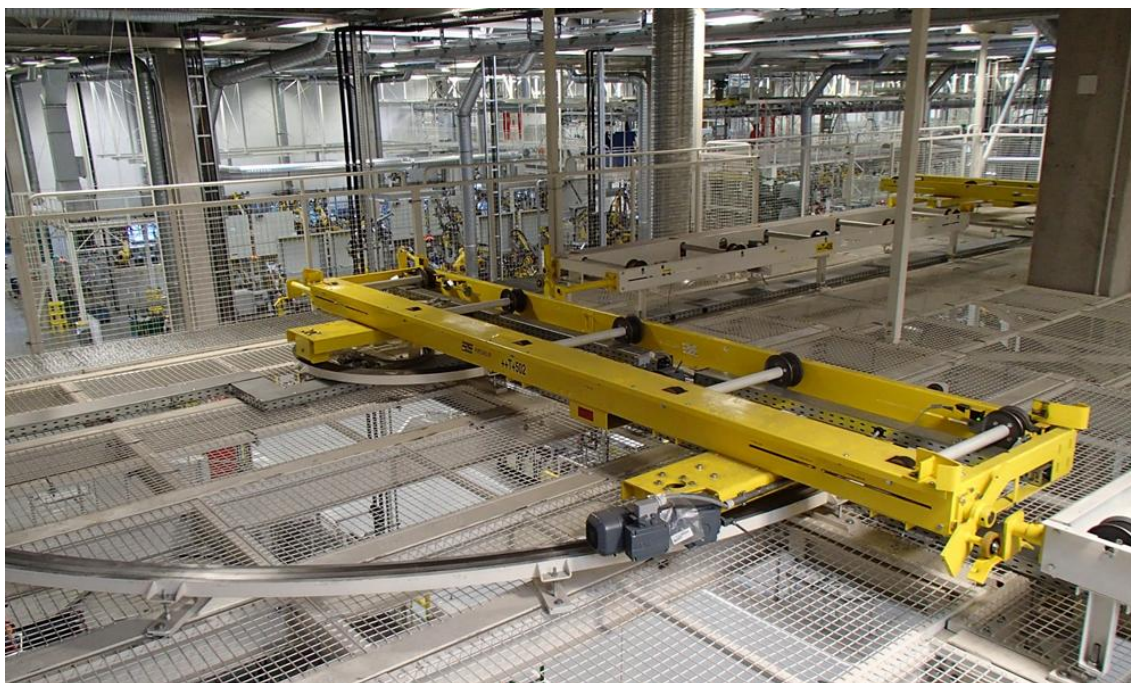


Obrázek 2.7: Příčný přesuvný dopravník
[zdroj: [6]]



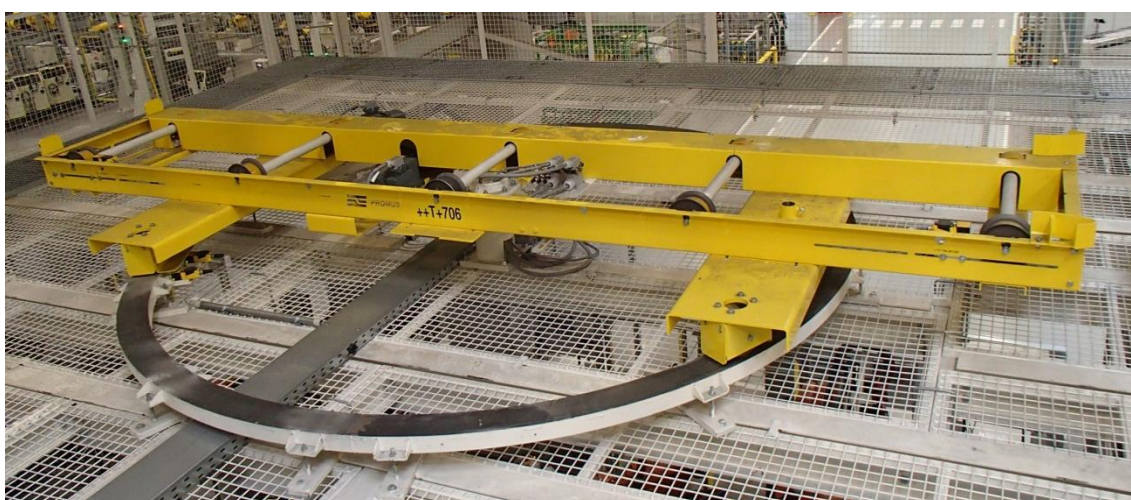
2.2.4 KYVNÝ A OTOČNÝ STŮL

Tyto dva druhy stolů mohou posloužit jako doplněk válečkových tratí. Využití kyvného stolu (Obrázek 2.8), který se může natáčet až o 90° , je většinou v rozích tratí, kdy je potřeba změnit směr. Tento kyvný stůl má osu rotace vždy na jednom konci stolu. [3]



Obrázek 2.8: Kyvný stůl
[zdroj: [6]]

Otočný stůl (Obrázek 2.9) má osu rotace ve středu stolu a otáčí se buď v rozmezí $0 \div 360^\circ$, nebo vratně v rozmezí $0 \div 180^\circ$. Stůl se může otáčet oběma směry. Vratný způsob otočení se používá z důvodu limitace od elektrického vedení. [3]



Obrázek 2.9: Otočný stůl
[zdroj: [6]]



2.2.5 ZVEDACÍ ZAŘÍZENÍ

Jedná se o další zařízení, které je často využívané v automobilovém průmyslu. Pracuje ve vertikálním směru, tzn. dopravuje karoserie mezi patry. Využívá se také při převěšení karoserií ze skidů na závěsy, tedy mezi dopravníky, které od sebe dělí výškový rozdíl. [3]

Podle konstrukce zvedacího zařízení (Obrázek 2.10) rozdělujeme na [3]:

- jednosloupový zvedák,
- dvousloupový zvedák (zdvih až 20 m),
- čtyřsloupový zvedák,
- nůžkový zvedák (zdvih do 2 m) a
- excentrický zvedák – zvedací stůl (zdvih do 250 mm).



Obrázek 2.10: Dvousloupový (vlevo) a nůžkový (vpravo) zvedák
[zdroj: [6]]

Zvedák může pracovat v obousměrném provozu, respektive lze s ním dopravovat materiál jak shora dolů, tak zdola nahoru. Pracovní cyklus zvedáku se může u jednotlivého použití lišit, v základě se ale jedná o 4 fáze pohybu. Pro popis těchto fází je počáteční poloha zvedáku zvolena dole a jedná se o převěšení karoserie ze skidu na závěsový dopravník.

Celý cyklus (naježdění, zvednutí, vyjetí, spouštění) začíná, když je zvedák v dolní pozici a je prázdný. Skid s karoserií naježdí na dolní pozici zvedáku a zastaví se na senzoru. Naježděním na tento senzor se vyšle signál řídicí jednotce, která spustí zvedání zvedáku, a ten nadzvedne karoserii ze skidu. Jakmile je zvedák v horní (výstupní) poloze, nastává další fáze, kterou je vyjetí karoserie. To se provádí pomocí závěsového dopravníku. Na pozici karoserie v horní poloze přijede závěs a vyšle signál zvedáku. Ten se spustí dolů a karoserie zůstane viset na závěsu. To už nastává poslední fáze, kdy se prázdný zvedák vrací do dolní pozice a závěs s karoserií odjede.



2.3 SIMULACE

Simulace je napodobení systému i s jeho dynamickými procesy pomocí simulačního modelu, na kterém lze provádět experimenty za účelem získání poznatků, které je možné přenést do reality⁷. [9]

Vytvořením simulačního modelu lze sledovat chování v průběhu vývoje systému. Model se skládá ze skupiny domněnek ohledně chování systému; tyto mohou být vyjádřeny matematicky, logicky nebo symbolicky vztahem mezi jednotlivými částmi systému. Vytvořením zmíněného modelu je možno prozkoumat dotazy týkající se řešeného problému. Díky simulaci je také možno otestovat změny na systému, aniž by došlo k reálné změně. Tímto lze zabránit případným kolizím a problémům, které mohou nastat v případech, v nichž není možné prováděné změny otestovat mimo pracovní dobu. Testování tak potvrzuje nebo vyvrací vhodnost daných změn. [10]

2.3.1 ZÁKLADNÍ POJMY

Systém je skupina objektů, které jsou mezi sebou provázány k docílení daného požadavku. Systém je ovlivňován jak vnitřními, tak zejména vnějšími změnami. Oblast okolí systému se nazývá systémové prostředí a při vytváření simulačního modelu, který bude vysvětlen později v této kapitole, je důležité určit hranice mezi systémem a systémovým prostředím. K pochopení systému je potřeba znát několik dalších termínů, jako jsou [10]:

- entita – prvek, který prochází systémem,
- atribut – vlastnost dané entity,
- aktivita – činnost entity po určitou dobu,
- událost – okamžitá příhoda, která může změnit stav systému a
- proměnná – veličina působící na systém, která se v čase mění.

Systémová analýza je metodický postup poznání systému od celku k jednotlivým částem. Pokud se systém jako celek chová specifickým způsobem, pak se toto chování musí dát vysvětlit pomocí chování jednotlivých částí tohoto celku. Postupným rozložením systému se snažíme dopátrat struktury a vazeb mezi jednotlivými částmi. Systémová analýza také zkoumá chování systému, který je ovlivněn vnějšími podněty, přičemž je známa struktura a chování jednotlivých prvků. [11]

Model je zjednodušenou náhradou reálného systému pro účely zkoumání. Ve většině případů se do něj zahrnují pouze informace, které mají vliv na řešenou část. Modely mohou být statické nebo dynamické, deterministické nebo stochastické a diskrétní či spojité. [10]

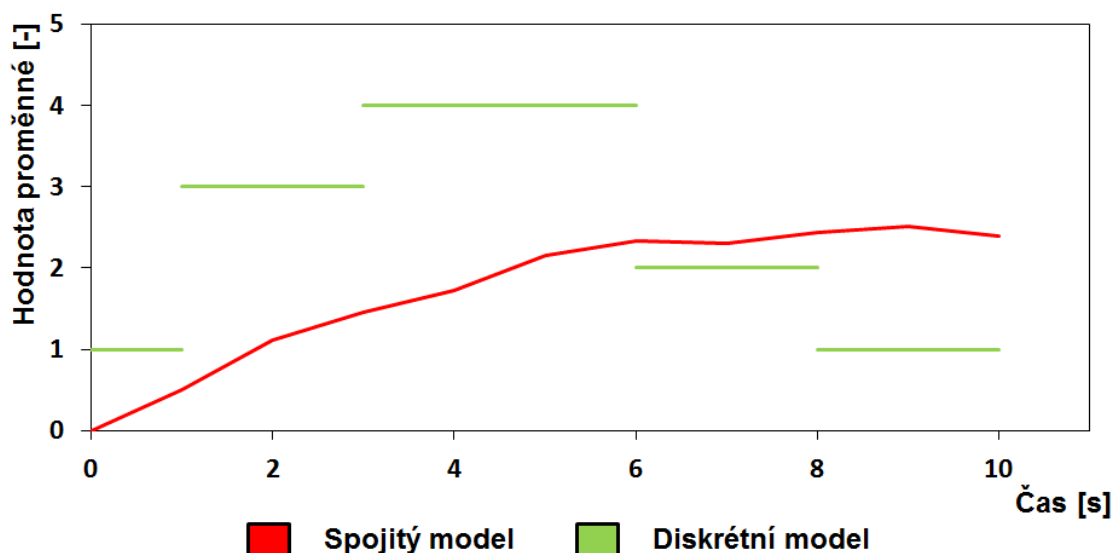
Rozdíl mezi statickým a dynamickým modelem spočívá v tom, že statický popisuje konkrétní událost v danou chvíli, kdežto dynamický říká, jak se choval systém v určitém časovém období. [10]

Deterministický model má konkrétní vstupní hodnoty, z nichž vyjdou konkrétní výstupní hodnoty. Naopak stochastický model pracuje s náhodnými veličinami, což vede k náhodným výstupním hodnotám. [10]

⁷ Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. [9]



U diskretního modelu se proměnné mění skokově (např. počet objednávek čekajících na vyřízení). Jeho opakem je spojitý model, kdy se proměnné mění kontinuálně s časem (např. změna polohy v čase). Obrázek 2.11 zobrazuje průběh hodnoty proměnné v diskretním a spojitém modelu. [10]



Obrázek 2.11: Graf průběhu proměnné ve spojitém a diskretním simulačním modelu
[zdroj: vlastní, převzato z [10]]

2.3.2 VYUŽITÍ SIMULACÍ

Díky stále se snižující ceně za počítačovou operaci, rostoucí kapacitě počítačové paměti a značnému pokroku v simulační metodice se simulace stala velmi používaným a všeobecně uznávaným nástrojem při řešení zkoumání provozu a systémové analýzy. Jsou však určitá omezení, kdy simulace vhodná je a kdy není (viz níže). [10]

Pomocí simulací jsme schopni odpovídat na otázky typu „Co se stane, když...“. Simulace umožňuje studovat a experimentovat jak s kompletním systémem, tak i jen s jeho částí. Znalosti získané v průběhu vytváření simulace mohou mít značný vliv na návrhy ke zlepšení systému. Tohoto způsobu lze také využít při plánování nového systému, a pomocí simulace dopředu zjistit, co od něj můžeme očekávat nebo jen potvrdit analytický výpočet. [12]

Díky simulacím se naskytá možnost bezrizikové změny vstupních proměnných a následné pozorování výstupních hodnot. Tímto lze zjistit, které proměnné jsou na sobě závislé a jakým způsobem. Animace simulace rozsáhlé oblasti může vést k informacím, které by z běžného pozorování nemusely být patrné. Simulaci je také vhodné uplatnit, pokud se očekává její opětovné využití v budoucnosti (např. pro analogický model, který stačí jen částečně pozměnit, případně doplnit). [12]

Naopak jsou případy, kdy není vhodné zabývat se vytvářením simulace, a to konkrétně pokud [10]:

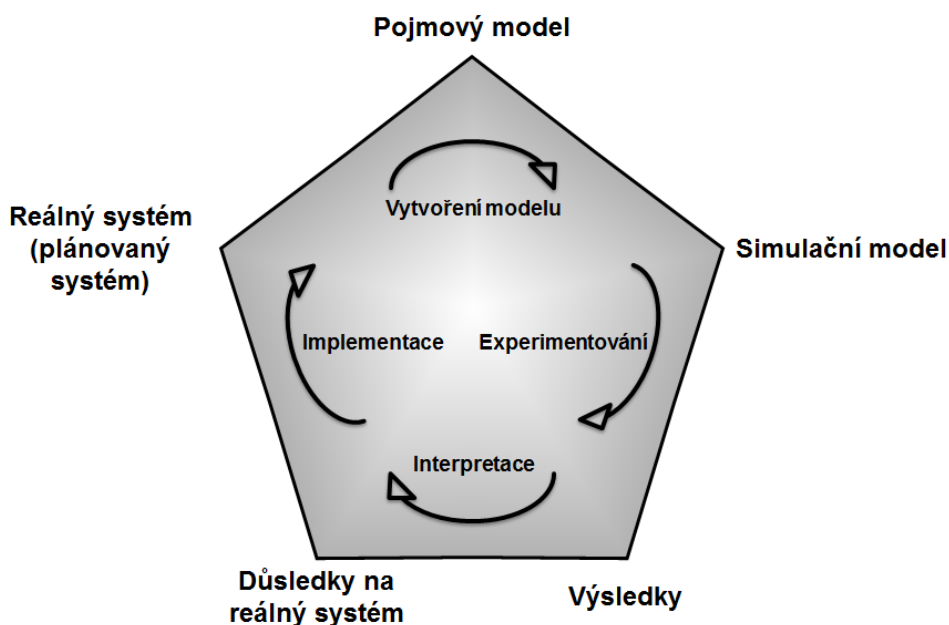


- lze výsledku dosáhnout pomocí logického uvažování nebo na základě zkušeností,
- lze problém vyřešit analyticky s použitím nástrojů zabývajících se konkrétní záležitostí,
- vytvoření simulace je dražší než reálný experiment,
- cena simulační studie překročí ušetřené náklady a
- na vytvoření simulace není rozpočet nebo dostatek času.

K simulacím je potřeba mít data a informace o systému; pokud není možno je získat nebo je systém příliš rozsáhlý (např. lidské chování), není doporučeno takovéto simulace vytvářet, zejména z toho důvodu, že by nebylo možné tyto simulace verifikovat a validovat. [10]

2.3.3 PROCES VYTVOŘENÍ SIMULAČNÍHO MODELU

Následující kapitola se řídí vývojovým diagramem pro vytváření simulačního modelu, který je vložen na konci této práce jako Příloha 1. Tento vývojový diagram lze také, ve zjednodušené formě, graficky zobrazit ve formě pětihranu (Obrázek 2.12).



Obrázek 2.12: Základní princip simulace

[zdroj: vlastní, převzato z [3]]

Na začátku vytváření simulačního modelu je provedena analýza řešeného problému, a to zadavatelem nebo vývojářem. Pokud tento problém určuje zadavatel, musí se vývojář ujistit, že je popsán zcela a výstižně. Jestliže ho naopak určuje vývojář, musí ho diskutovat se zadavatelem a ten s ním musí souhlasit. Tento problém (sadu problémů) je vhodné sepsat do odrážkové formy úkolů. Lze jej také formulovat skupinou otázek, na které jsou hledány odpovědi. V průběhu řešení problému může dojít k novému zjištění a problém musí být přeformulován. [10]

Po určení řešeného problému následuje ověření, zda je simulace vhodná (tato problematika byla popsána v kapitole 2.3.2). Je-li simulace žádoucím řešením, dojde k formulování cílů simulace. Jedním ze základních bodů stanovování cílů může být

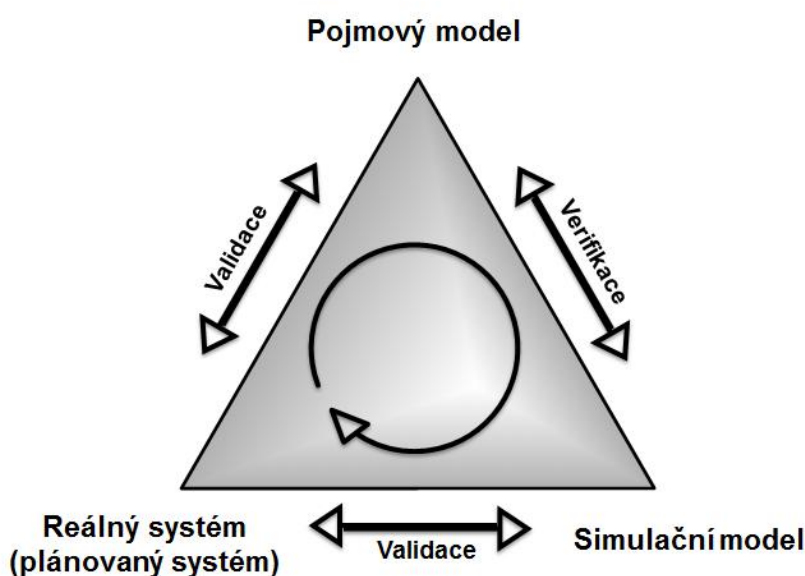
upřesnění detailnosti systému, respektive do jaké hloubky je nutné systém studovat. Dalším bodem je vymezení hlavních otázek, na které má výsledná simulace poskytnout odpovědi. Ty by měly být měřitelné a přesně formulovatelné. [12]

Pojmový model (znám také jako koncepční model), který je souhrnem získaných informací o chování systému, je zjednodušeným schématem řešeného systému. Pojmový model může být zaznamenán pomocí verbálního popisu, schématického popisu, matematického popisu nebo vývojového diagramu. Je v něm zaznamenáno fyzické rozložení jednotlivých pozic, vstupní data a parametry. Při pozorování je nutné důkladně porozumět chování jak celkového systému, tak i jeho jednotlivých prvků. Při vytváření modelu je dobré začít s jednoduchým modelem a postupně rozvíjet jeho komplexitu, dokud není dosaženo přibližné hodnoty. Nicméně není nutné, aby komplexita modelu překročila požadovanou hodnotu zadání ke splnění záměru modelu. [10]

Výše zmíněné informace o chování systému vychází ze sběru dat. Tato činnost probíhá souběžně s vytvářením pojmového modelu. Při rostoucí komplexitě modelu může nastat situace, kdy dosavadní data nadále nebudou dostatečná a bude nutné získat nové nebo rozšířit stávající. [10]

Vytvoření simulačního modelu vychází z informací vypořádaných z reálného systému nebo v případě plánovaného systému z dat obdržených od zadavatele. Je důležité mít předem stanovenou míru detailnosti požadovaného modelu. Pokud v průběhu vytváření simulačního modelu vyvstanou nějaké nejasnosti, je vhodné se dotazovat kvalifikovaných osob na další detaily. [10]

Při vytváření simulačního modelu vzniká pomyslný trojúhelník Reálný systém – Pojmový model – Simulační model (Obrázek 2.13), který popisuje poměr validace a verifikace modelů s reálným systémem.



Obrázek 2.13: Validační a verifikační trojúhelník

[zdroj: vlastní, převzato z [10]]



Validování a verifikování jsou jedním z nejdůležitějších a nejsložitějších úkolů při simulaci. Tato validace a verifikace neproběhne pouze jednou, ale dochází k ní opakovaně, dokud není model validován, respektive verifikován. [10]

„Verifikace se zabývá správným vytvářením modelu.“⁸ Verifikací porovnáváme pojmový model se simulačním modelem a ujišťujeme se o jeho správnosti, zda byl pojmový model správně implementován do simulačního softwaru a zda vstupní parametry a logická struktura odpovídají pojmovému modelu. [10]

„Validace se zabývá vytvářením správného modelu.“⁹ Validací se chápe porovnání správnosti modelu, ať už se jedná o pojmový nebo simulační model, s reálným systémem na domluvené detailnosti. Validace simulačního modelu se dosáhne jeho postupným zpřesňováním, až správně zachycuje simulovaný proces, tedy je dosaženo stejných výsledků jako v reálném systému. [10]

2.3.4 EXPERIMENTOVÁNÍ

Teprve po dokončení simulačního modelu a úspěšné validaci a verifikaci je možné přejít k fázi experimentování. Každý běh simulace lze považovat za experiment. Nastavením vstupních hodnot je experiment kontrolován a na konci simulace vede k výstupním hodnotám. Jako u všech experimentů je nezbytné učinit opatření zajišťující, že kombinovaný vliv externích faktorů působících na systém je minimalizován. [13]

Určení délky simulace závisí na dynamických charakteristikách systému. V takovémto případě se může výstupní proměnná při stejných vstupních hodnotách v čase simulace měnit. V průběhu simulace mohou nastat dva stavy proměnné, a to nástup, kdy se výstupní hodnota po spuštění simulace výrazně v čase mění, a ustálený stav, u kterého se výstupní hodnota ustálí na hodnotě (nebo kolísá v určitém rozmezí). Chvilu, kdy je dosaženo zmíněného ustáleného stavu, je často hlavním zájmem simulace. Podle toho je důležité určit délku simulace. [13]

Pokud se při simulaci mění několik vstupních proměnných a je nutné provést experiment pro každou variantu změny, je vhodné si k tomu vytvořit matici experimentů. Některé softwary pro vytváření simulací mají na takovou práci s experimenty integrovanou funkcionalitu, např. experiment manager v Plant Simulation. Do něj se nadefinují všechny hodnoty vstupních proměnných, které se budou testovat, a také se zaznamená výstupní hodnota (případně i více hodnot), která má být sledována. To částečně zjednoduší strávenou dobu nad simulačním modelem, kdy by se musela po každém simulačním běhu zaznamenat získaná data a měnit vstupní proměnné na další testované hodnoty. S jeho využitím lze velmi jednoduše otestovat všechny možnosti a získat v rychlosti výsledky.

2.3.5 PRÁCE S VÝSLEDKY A DOKUMENTACE

Po proběhnutí experimentů následuje fáze vyhodnocení výsledků. Jestliže jsou získané výsledky dostačující, je možno přejít k jejich analyzování a následnému zveřejnění; v opačném případě k jejich další analýze. Na základě výsledků jsou vytvořena doporučení,

⁸ Verification is concerned with building the model correctly. [10]

⁹ Validation is concerned with building the correct model. [10]



kteřa mohou mít vliv na reálný systém. Proto je důležité dbát na jejich správnost a jednoznačnost. V průběhu simulace, tak jako v realitě, se objevuje tzv. doba náběhu, což lze vysvětlit jako dobu, než je řešená oblast v plně obsazeném provozu. V této době může simulace vůči reálnému stavu probíhat rozdílně. Lze také říci, že čím detailnější a rozsáhlejší je vytvořený model, tím je i doba náběhu delší. Je tedy na místě analyzovat výsledek z doby náběhu a z doby po náběhu separátně a pro výsledek projektu brát zřetel zejména na výsledky po náběhu. [12]

Dokončená simulace je popsána dvěma dokumenty. Prvním je program a jeho popis, který se vyhotovuje pro případy či situace, kdy se k řešené situaci bude potřeba vrátit a otestovat jiné hodnoty, případně pozměnit simulační model. Ne vždy změnu simulace provádí stejná osoba nebo od poslední úpravy uběhne dlouhá doba a programátor si již nevybavuje veškeré detaily, proto je tedy nutné vytvořený program popsat a vytvořit k němu manuál (dokument, který ve zkratce popisuje, kde se nachází důležité proměnné a hlavní kód, jaké úpravy lze provádět, jakým způsobem program funguje apod.), který urychlí pochopení programu. Je vhodné mít toto na vědomí již od začátku vytváření modelu a v průběhu (např. na konci dne) si psát „deník simulace“¹⁰ – poznámky o progresu vytváření simulace, o požadovaných změnách, o učiněných rozhodnutích a případně další doplňující informace k modelu. Tyto poznámky ulehčí vytvoření zmíněného dokumentu k již hotovému programu. [10]

Druhým dokumentem je report, zpráva s výsledky simulací. Opět i zde platí, že je vhodné vytvářet několik dílčích zpráv, které nejsou tak rozsáhlé, ale postupně vedou k absolutnímu cíli, než vytvořit pouze jednu na konci. Těmito minoritními zprávami může být myšleno například ukázka prototypu, animace získané ze simulací atd. Finální report by měl být ucelený, výstižný a neměly by v něm chybět [10]:

- kritéria, podle kterých se hodnotilo,
- řešené varianty,
- verze simulačního modelu,
- výsledky, kterých bylo dosaženo, nehledě na jejich pozitivní či negativní dopad a
- doporučení k řešení problému.

2.4 SOFTWARE PLANT SIMULATION

K vytvoření simulačního modelu byl použit software Plant Simulation od společnosti Siemens PLM Software, který patří do skupiny programů Tecnomatix. Ty se zabývají řešením digitální továrny, která spojuje jednotlivé disciplíny počínaje návrhem, plánováním, až po výrobu. Návrh a plánování mohou být podpůrně řešeny pomocí simulace. Plant Simulation pomáhá řešit simulaci diskrétních událostí vytvářením modelů logistických systémů a následně i jejich zkoumání. [14]

V simulačních modelech je možné vytvářet scénáře typu „co se stane, když...“¹¹ a sledovat, jak na ně systém zareaguje. Použití simulace v rané fázi plánování výroby může

¹⁰ Více o této problematice lze nalézt v normách VDI 3633 a VDA_BSK.

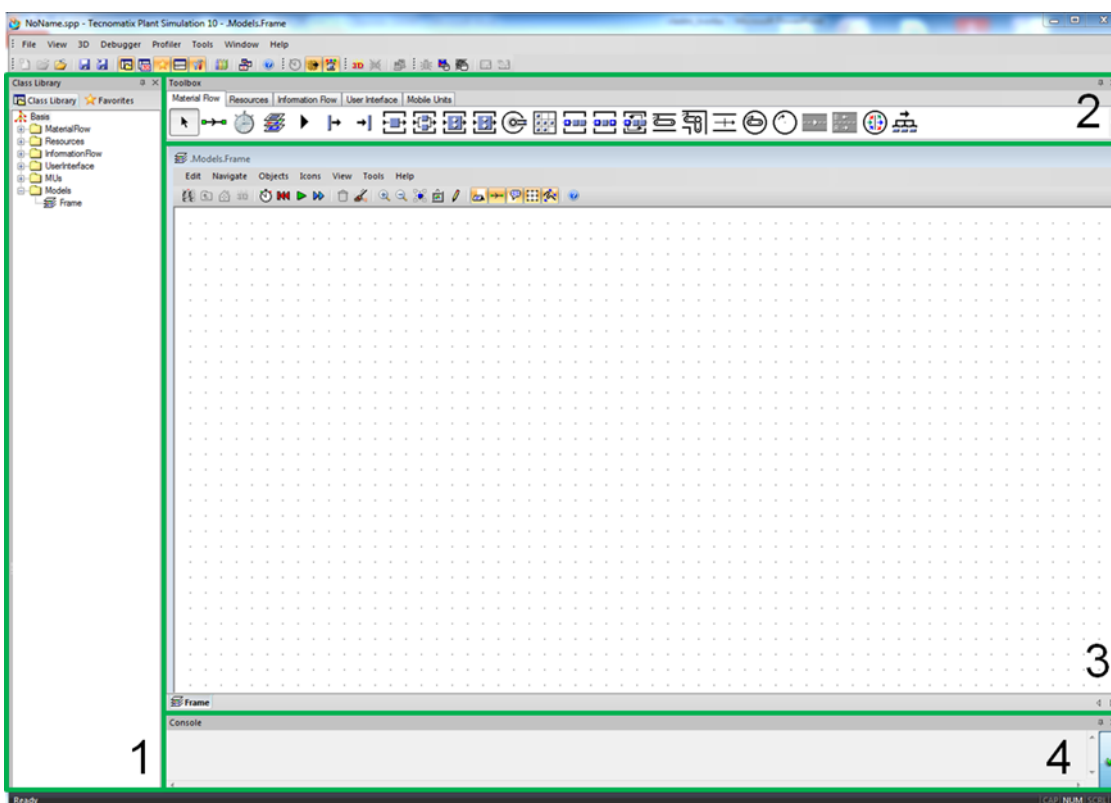
¹¹ Přeloženo z anglického „What...if“.



vést k rychlým a spolehlivým rozhodnutím (např. výběr mezi dvěma variantami při zohlednění dynamiky systému). Mezi klíčové funkce softwaru Plant Simulation patří [14]:

- objektově orientované modely s hierarchií a odkazy,
- otevřená architektura s podporou multi-rozhraní,
- správa knihoven a objektů,
- optimalizace pomocí genetických algoritmů,
- simulace a analýza spotřeby energie a
- analýza výsledků simulace.

Při vytváření modelu pracujeme v prostředí, které je rozděleno okny na několik sektorů (Obrázek 2.14). Číslice 1 zobrazuje knihovnu tříd (class library), 2 představuje panel nástrojů (toolbox), 3 je pracovní okno (frame) a 4 znázorňuje konzolu (console). Jednotlivé sektory budou popsány v následujících podkapitolách. [12]



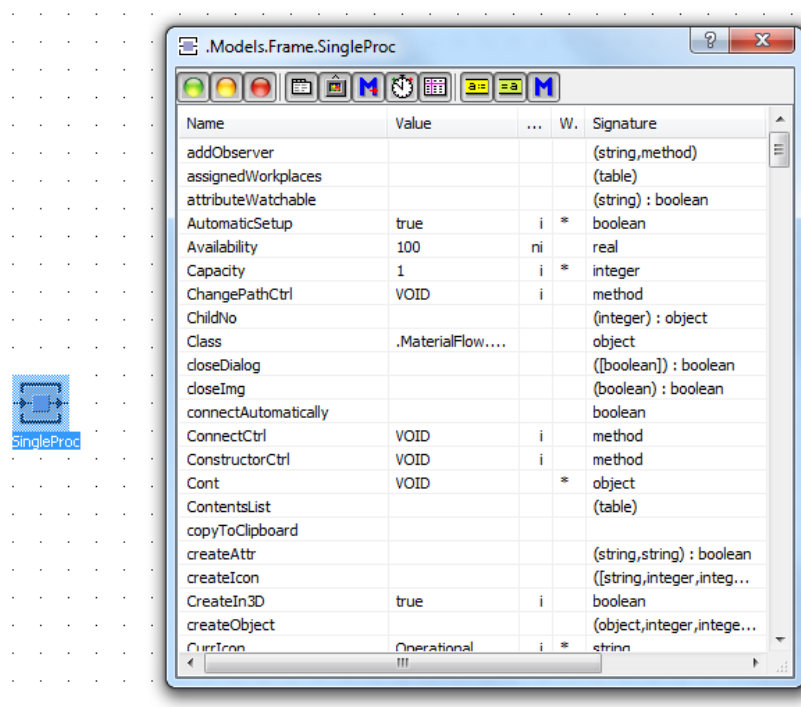
- 1 – Knihovna tříd;
- 2 – Panel nástrojů;
- 3 – Pracovní okno;
- 4 – Konzola.

*Obrázek 2.14: Prostředí Plant Simulation
[zdroj: software Plant Simulation 10.0.1]*

Jak bylo zmíněno, jedná se o vytváření modelů pomocí objektů a jejich propojování. Plant Simulation nabízí i možnost programování, k tomu využívá svého vlastního programovacího jazyka SimTalk. Při vytváření programovacího kódu se využívá podmínek,



jako IF...THEN...ELSE...END, IF...ELSEIF...ELSE...END, FOR...LOOP, AND, OR, END aj. Každý objekt má v sobě definované atributy konkrétních datových typů (string¹², boolean¹³, integer¹⁴ atd.), které ho specifikují (Obrázek 2.15). Atributy je možné využít i v rámci vytváření kódu a v něm se na ně odkazovat nebo měnit jejich hodnoty. Svůj příkazový název mají dán jak v angličtině, tak i v němčině, a je možné je v jednom kódu kombinovat. Vedle pevně daných atributů lze ke každému objektu přiřadit svůj vlastní atribut, který je nutné definovat názvem a typem. [12]



Obrázek 2.15: Ukázka tabulky atributů u prvku pracoviště
[zdroj: software Plant Simulation 10.0.1]

2.4.1 KNIHOVNA TŘÍD

V knihovně se nachází celý strom modelu. Jsou zde také všechny prvky, ze kterých se následně skládá model. Ty jsou rozděleny do jednotlivých složek podle významu použití [12]:

- Materiálový tok (Material Flow) obsahuje základní prvky pro složení modelu materiálového toku. Nachází se zde vstup a výstup materiálu, několik typů pracovišť, sklad, zásobníky, třídiče, dopravníky atd.
- Zdroje (Resources) slouží k vytváření modelu, kde se počítá s lidským faktorem. Lze zde nalézt prvky jako pracoviště, cesta, pracovník, směnový kalendář atd.
- Informační tok (Information Flow) shrnuje prvky k využití při práci s daty. Je zde například metoda, která slouží k zápisu programového kódu v jazyce SimTalk, proměnná, tabulka a další.

¹² Datový typ text.

¹³ Datový typ nabývající hodnot pravda (1) nepravda (0).

¹⁴ Datový typ celé číslo.



- Uživatelské rozhraní (User Interface) obsahuje prvky ke zjednodušení ovládání jako komentář, displej, graf a různé druhy ovládacích tlačítek.
- Pohyblivé objekty (MUs¹⁵) jsou tři prvky: výrobek, paleta a vozík. Výrobek se sám pohybovat nemůže, ale je možno s ním manipulovat. Paleta se chová stejně jako výrobek, má však navíc možnost pojmout výrobky. Vozík má svůj vlastní pohon a může být naložen paletami nebo výrobky.
- Nástroje (Tools) obsahují prvky k práci s experimenty (experiment manager) a k jejich vyhodnocování (Sankeyův diagram¹⁶, analyzátor úzkých míst a další).
- Modely (Models) obsahují vytvořené sítě.

Ze základních prvků lze vytvářet jejich kopie dvěma způsoby: vytvořením duplikátu, který poté nemá vazbu na originál a je možno ho libovolně upravovat, a derivátu, který si vazbu uchovává. Při změně originálu se změny projeví i ve všech ostatních derivátech, kdežto duplikáty zůstanou nezměněny. [12]

Je zde i možnost vytváření vlastních složek a knihoven. Do knihovny se obvykle vkládají často používané a již upravené prvky. Knihovny mohou být uloženy na síti, tím je umožněno, že jedna knihovna prvků je využívána všemi pracovníky. [12]

2.4.2 PANEL NÁSTROJŮ

Je zkratkou k výše zmíněným složkám s jednotlivými prvky (kromě složky Modely). Je využíván častěji, jelikož se v něm dá rychleji zorientovat a je vždy po ruce. Vložení do sítě lze provést buď přetažením do pracovní plochy, nebo kliknutím na ikonu v panelu a poté opětovným kliknutím v místě, na které má být daný objekt vložen. Je zde i možnost vložit jeden objekt několikrát, a to přidržením CTRL při vkládání. [12]

2.4.3 PRACOVNÍ OKNO

Zde se vytváří model přidáváním jednotlivých objektů do pracovní sítě. Pozadí této sítě lze nahradit obrázkem podporovaného formátu, a tím lze například vytvořit plán modelu. Rozsáhlejší modely je vhodné rozdělit na submodely (sekce) a každý submodel vytvořit v jedné síti. Poté v nadřazené síti tyto submodely spojit v jeden celek. [12]

2.4.4 KONZOLA

Do okna konzoli se zapisují důležitá hlášení programu během simulace (např. chybová hlášení). Je také možno sem nechat vypisovat údaje z probíhající simulace. [12]

¹⁵ Zkratka anglického Mobile Objects (nebo také mobile units). [12]

¹⁶ Sankeyův diagram je grafickým znázorněním materiálového toku, kde šířka proužku udává poměrnou část z celku. [3]



3 ANALÝZA ŘEŠENÉ OBLASTI

Oblast lakovny společnosti ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi byla hlavním předmětem této diplomové práce. Tato oblast byla popsána na základě interních materiálů ŠKODA AUTO a.s. Lakovna je rozdělena na dvě sekce. Konkrétně se jedná o halu základního laku a halu vrchního laku. V následujícím textu jsou popsány procesy probíhající v hale vrchního laku, kde se nachází řešený zásobník na tvorbu barevného bloku před nástřikem vrchního laku (dále jen zásobník).

3.1 EVIDENČNÍ BODY

Ve výrobním procesu je nutné mít přehled, na kterém místě se aktuálně karoserie nachází. K tomu slouží evidenční body (dále v textu budou označovány zkratkou EB), což jsou místa, kde se zapisuje karoserie do systému. K načtení se využívá skenerů, které načítají identifikační štítky umístěné na karoserii (viz kapitola 3.2). Využívá se dvou typů skenerů, a to manuálního (pracovník na pracovišti) a automatického (stacionární skener, případně i kamera). Tyto EB, ať už reálné nebo virtuální, jsou rozmístěny po celém závodu od zadání zakázky do centrálního počítače (virtuální), přes svařovnu a lakovnu až po ukončení montáže a expedici hotového automobilu. Díky těmto bodům mohou být informace použity pro [3]:

- technologie konkrétní linky,
- dopravní zařízení a
- monitorování stavu a průběhu zakázek ve výrobě.

3.2 IDENTIFIKACE KAROSERIÍ

Jak již bylo naznačeno, TPS (Tages-Produktion-Schild) štítky jsou identifikační štítky karoserie a jsou přinýtovány na předním pravém podélníku karoserie. K jejich přinýtování dochází na vstupu do svařovny. TPS štítek obsahuje informace o [3]:

- čísla zakázky,
- typu karoserie,
- barvě karoserie a
- pořadovém čísle v sekvenci výrobního programu.

3.2.1 IDENTIFIKAČNÍ ČÍSLO KNR (KENNUMMER)

KNR se používá k identifikaci zakázek ve výrobě. Jeho složení je následovné [3]:

TT-D-PPPP

kde: TT – plánovaný výrobní týden;
 D – plánovaný výrobní den;
 PPPP – pořadové číslo výrobního dne.



V případech, kdy je nutné hodnotit i závod a rok výroby, má KNR jinou variantu zápisu [3]:

ZZ RRRR TT-D-PPPP

kde: ZZ – výrobní závod;
 RRRR – výrobní rok;
 TT – plánovaný výrobní týden;
 D – plánovaný výrobní den;
 PPPP – pořadové číslo výrobního dne.

3.3 ŘÍDÍCÍ SYSTÉM FIS

Systém FIS (Fertigungs-Infos-und Steuerungssystem) je výrobní, řídicí a informační systém standardizovaný VW-Group. Slouží pro řízení zakázek automobilů ve výrobě a je využíván v celém rozsahu výrobního procesu. Jedná se o modulární řídicí systém, může být aplikován na různé podmínky. Myšlenkou tohoto systému je zaznamenání informací v místech vzniku a jejich uchování na požadovaných místech. K jeho hlavním funkcím patří [3]:

- řízení zakázek (vstup, změny a výmaz zakázek),
- vytvoření sekvence zakázek,
- správa informací o každé zakázce,
- sběr událostí z výroby a
- poskytování informací do výrobních oblastí, ostatním systémům a odběratelům.

3.4 POPIS SOUČASNÉHO STAVU

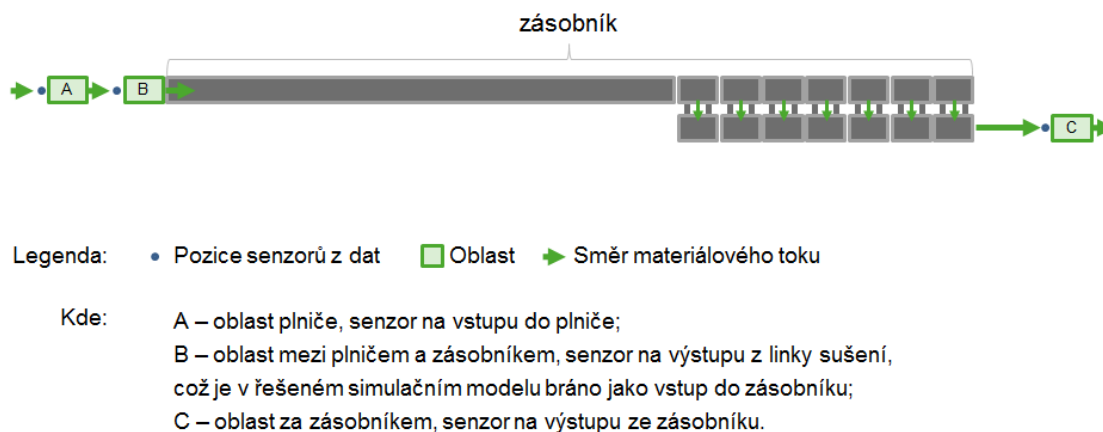
Hala vrchního laku je pro popis rozdělena na tři části: část před řešenou oblastí, kde se nachází plnič a linka sušení, dále řešená část, ve které je umístěn zásobník, a část, která následuje po ní, kde probíhá nástřik vrchního laku. Příloha 2 zobrazuje zjednodušené blokové schéma haly vrchního laku.

3.4.1 PŘED ŘEŠENOU OBLASTÍ – LINKA PLNIČE A LINKA SUŠENÍ

V hale vrchního laku se nachází řešený zásobník. Prvním pracovištěm v této hale je linka plniče. Zde se také nachází první EB, který je použit v simulačním modelu – vstup do linky plniče (Obrázek 3.1, bod A). Linka plniče slouží k vyrovnání nerovností na povrchu karoserie nanášením vrstvy laku v desítkách μm . Jedná se o vrstvu mezi základním lakem a vrchním lakem. K nástřiku je využíváno automatizovaných robotů, nicméně zde dochází i k ručnímu dostřikání nedostupných částí karoserie. V současné době je k dispozici pět základních barev v plniči, a to konkrétně bílá, černá, šedá, červená a žlutá. Jejich použití se odvíjí od barvy vrchního laku a rozdělení je dáno tabulkou. [6]

Po nanášení vrstvy laku v plniči následuje jeho sušení, k čemuž slouží dvě paralelní plničové sušičky, do kterých jsou karoserie posílány střídavě do jedné a do druhé větve; jedná se o poměrové řízení v režimu FIFO. Jestliže nastane porucha v jedné z větví sušičky,

musí všechny karoserie procházet jednou větví. Platí zde totiž pravidlo, že se karoserie nesmí v plniči ani v sušičkách zastavit, aby nedošlo k jejich poškození. Linka sušení je rozdělena na tři sekce: předsušička, sušička a chladič. Sušička je vůči ostatním sekcím o patro výš ve třetím patře lakovny. Po návratu zpět do druhého patra a projetím sekcí chladiče pokračuje část karoserií pomocí dopravníků a zvedáků přes třetí patro do čtvrtého, kde se nachází řešený zásobník. Některé karoserie mohou být přesunuty do prvního patra na odstranění defektů. Za chladičem se nachází druhý EB – výstup z linky sušení, což je v řešeném simulačním modelu bráno jako vstup do zásobníku (Obrázek 3.1, bod B). [6]



Obrázek 3.1: Schéma řešené oblasti
 [zdroj: vlastní]

3.4.2 ŘEŠENÁ OBLAST – ZÁSOBNÍK NA TVORBU BAREVNÉHO BLOKU

Poté, co skidy s karoserií vyjedou ze zvedáku, následuje čtrnáct pozic na pásovém dopravníku před samotným zásobníkem na tvorbu barevného bloku (dále jen zásobník), tzv. nájezdová větev. Na posledních třech pozicích před zásobníkem jsou načítány barvy karoserie. Samotný zásobník čítá sedm pozic a se skidy je zde manipulováno pomocí válečkové tratě. Paralelně s těmito sedmi pozicemi je i sedm pozic ve vypouštěcí větví. Každá pozice se skládá z excentrického stolu v zásobníku, excentrického stolu ve vypouštěcí větví a příčného pásového dopravníku, který je spojuje. [6]

Hlavní funkcí tohoto zásobníku je přeskládání karoserií podle finální barvy do bloku stejných barev. Je nutno podotknout, že přeskládání je plně automatické a lze jej jenom vypnout. Pomocí vytváření barevných bloků se ušetří barva na pracovišti nástřiku vrchního laku, jelikož při každé změně barvy dochází k proplachu trysek, a tím i ke ztrátě laku. [6]

Jestliže nastanou restriktce zásobníku (podmínky, které znemožňují jeho plného využití), například porucha na lince, může dojít k přerušení hlavního účelu zásobníku. V takovém případě projíždí karoserie zásobníkem přes jeho první pozici bez jakéhokoli přetřídění a změna barvy na pracovišti vrchního laku probíhá manuálně. [6]



3.4.3 ZA ŘEŠENOU OBLASTÍ – LINKA VRCHNÍHO LAKU

Na výstupu ze zásobníku se nachází třetí EB – výstup ze zásobníku (Obrázek 3.1, bod C). Za zásobníkem je série dopravníků a zvedáků, pomocí kterých se skidy s karoseriemi přemístí zpět do druhého patra lakovny, kde se nachází linka vrchního laku. Ta se skládá z několika částí. Nejprve se provádí ruční nástřik základního laku na interiérové části karoserie, poté se s pomocí robotové stanice provádí nástřik povrchu karoserie podle barevného odstínu. Následuje mezisušička, kde pigment částečně zaschne, aby se poté mohl nanést bezbarvý lak. Opět se jedná o ruční nástřik interiéru a robotický nástřik povrchu karoserie. Jakmile je nástřik hotový, karoserie se přesunou do sušičky a následuje ruční broušení lakových defektů a finální mechanické zalešťování. Nakonec prochází karoserie výstupní kontrolou, a jestliže jsou v pořádku, mohou být přesunuty do sekvenčního zásobníku v prvním patře, kde jsou nachystány na montáž. [6]

3.5 ANALYZOVÁNÍ DAT

K analýze dat bylo použito záznamu karoserií ze tří výše zmíněných EB. Tento záznam obsahoval data z června 2013, která posloužila jako testovací vzorek do simulačního modelu pro zachování reálného modelového mixu. Před samotným použitím těchto zápisů bylo nezbytné provést jejich filtraci a ořezání od okrajových a necelých záznamů. Tím se získaná data ucelila a bylo možné z nich získat korektní výsledky. Možno podotknout, že tuto činnost lze provést manuálně, jestliže se jedná o malý vzorek dat, avšak u dat s několika tisíci záznamy je to téměř nemožné. V daném případě bylo proto nutné testovaná data analyzovat v určeném softwaru (např. MS Excel a MS Access)¹⁷.

V průběhu simulace jsou průchody karoserie zaznamenávány do souboru a ten je po jejím dokončení exportován do souboru softwaru Access. Po provedené simulaci dochází k opětovné analýze dat, ke které posloužil software APP, o kterém je zmíněno níže.

Jelikož senzory na zápis karoserií nenačítají se 100% přesností, mohou se v záznamech objevit nenačtené karoserie s označením „NULL“. Tyto karoserie se jeví jako neznámé a změnu barvy na pracovišti nástřiku vrchního laku provádí pracovník manuálně. Jakmile přijede karoserie, načte TPS štítek a podle z něj získaných informací dojde ke změně barvy laku v tryskách.

3.6 SOFTWARE APP

Software APP (Analyzer of production processes), který je výhradním vlastnictvím společnosti ŠKODA AUTO a.s., lze do češtiny pojmenovat jako Analyzátor výrobních procesů. Slouží k analyzování dat z různých zdrojů (výrobní systémy, logistické systémy i simulační software). K importování z ostatních softwarů slouží rozhraní aplikace, které je poté využíváno k pokládání dotazů podle zvolené analýzy. Výsledky analýzy jsou exportovány

¹⁷ MS – Microsoft.



do souboru programu MS Excel. V zápisu dat z EB do textového souboru jsou zaznamenány hodnoty [15]:

- data a času zápisu;
- typu karoserie;
- identifikačního čísla karoserie;
- názvu EB;
- označení barvy karoserie podle ČSN, ŠKODA AUTO nebo VW.¹⁸

Oddělení hodnot může být řešeno několika způsoby (např. středník, čárka apod.) a každý musí být zapsán daným datovým typem. Jestliže importovaná tabulka obsahuje záhlaví sloupců, není nutné jednotlivé sloupce definovat, ale stačí zaškrtnout volbu – tabulka obsahuje záhlaví. Pro korektní fungování je nutné znát minimálně čtyři základní hodnoty (datum, čas, ID karoserie¹⁹ a název EB). Aplikace může při importu zkontrolovat, zda v záznamech nejsou duplikované záznamy, ať už podle času nebo ID karoserie. Nutno dodat, že je zde mnoho dalších možností práce s importovanými daty. [15]

3.6.1 TYPY ANALÝZ

Pomocí softwaru APP lze vytvářet několik typů analýz. Základním hlediskem pro jejich rozdělení je, zda se analýza provádí na základě jednoho nebo dvou EB. Každý konkrétní typ analýzy navíc nabízí několik možností zobrazení výsledků. Při analýze z jednoho EB se naskýtají možnosti analýzy [15]:

- dosažené četnosti průchodu EB;
- dosažené četnosti průchodu EB určitého znaku²⁰;
- velikosti bloku daného pole znaku;
- velikosti bloku konkrétního znaku;
- doby mezi průchody objektů EB;
- doby mezi průchody objektů EB určitého znaku.

Při analýze na základě dvou EB jsou možnosti analýzy jiné [15]:

- doba průchodu objektů mezi EB;
- průběh obsazenosti objektů mezi EB;
- dodržení sekvence objektů.

3.6.2 POUŽITÍ V SIMULAČNÍM SOFTWARE PLANT SIMULATION

Zápisy dat probíhají pomocí kódu v metodě vyvolané na místech v simulačním modelu, které v realitě odpovídají EB. Následně lze porovnávat výsledky získané z reálných dat a výsledky ze simulačního modelu ze stejného místa. [15]

¹⁸ Například bílá karoserie může být označena několika způsoby: názvem Bílá Candy, normou ČSN 67 3067 – 1026, označením výrobce 9P9P nebo označením podle VW Group F9E. [6]

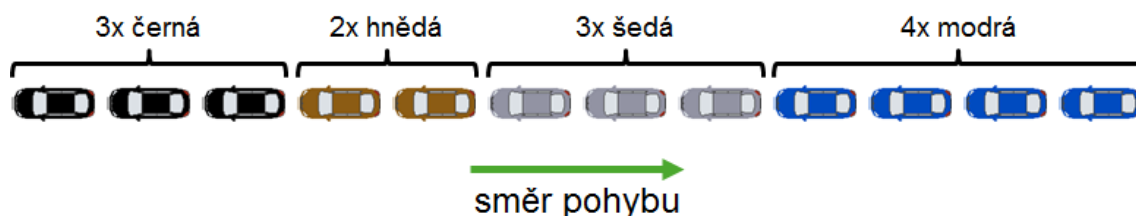
¹⁹ Identifikační číslo karoserie (např. KNR).

²⁰ Určitým znakem je myšlena například konkrétní barva karoserie.

3.7 BAREVNÝ BLOK

Barevný blok lze definovat jako karoserie stejné barvy jdoucí za sebou. Sledování barevného bloku probíhá na EB.

Po přetřídění karoserií v zásobníku a následném odjetí z něj už ke změně jejich vzájemného pořadí nedochází. V tuto chvíli je již možno sledovat barevný blok.



Obrázek 3.2: Ukázka barevného bloku
[zdroj: vlastní]

Vytvoření barevných bloků bude popsáno na příkladu (Obrázek 3.2). Nejprve se vytvořil blok čtyř modrých karoserií, který je následován třemi šedými, dvěma hnědými a třemi černými. To dává dohromady dvanáct karoserií ve čtyřech blocích. Průměrná velikost barevného bloku pro uvedený příklad se poté vypočítá podle vzorce:

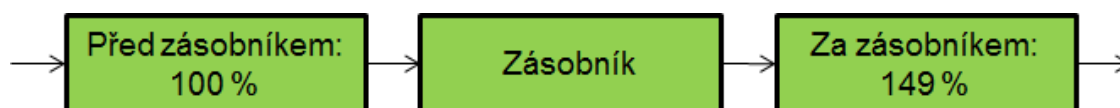
$$\varnothing_{BB} = \frac{\sum_{i=1}^n BB}{n} [karoserie] \quad (3.1)$$

$$\varnothing_{BB} = \frac{4 + 3 + 2 + 3}{4} = 3 \text{ karoserie}$$

$$\varnothing_{BB} = 3 \text{ karoserie}$$

kde: \varnothing_{BB} – průměrná velikost barevného bloku;
BB – velikost barevného bloku;
n – počet vytvořených barevných bloků.

V lakovně, konkrétně na nástřiku vrchního laku, platí, že čím větší barevný blok, tím lépe. Ze získaných dat z června 2013 bylo pomocí jejich analýzy a využití výše zmíněného vzorce zjištěno, že na vstupu do zásobníku na tvorbu barevného bloku je průměrná velikost barevného bloku před samotným přetříděním na hodnotě 100 %. Po přetřídění pomocí zásobníku na EB – výstupu ze zásobníku je hodnota průměrné velikosti barevného bloku 149 % (Obrázek 3.3). V této hodnotě jsou započítány veškeré poruchy a rovněž čas, kdy bylo třídění barev vypnuto. Jedná se tedy o zlepšení hodnoty průměrného barevného bloku o 49 %. Tvorba barevného bloku má důležitý význam pro nástřik vrchního laku, avšak na další oblasti výroby nemá žádný vliv.



Obrázek 3.3: Hodnoty velikostí barevného bloku z června 2013 v okolí zásobníku
[zdroj: vlastní]



4 NÁVRH ŘEŠENÍ

4.1 DŮLEŽITÉ BODY



4.2 SOUČASNÝ STAV ZÁSOBNÍKU

4.2.1 POJMOVÝ MODEL



4.2.2 LOGIKA ŘÍZENÍ ZÁSOBNÍKU



4.2.3 SIMULAČNÍ MODEL









4.3 VALIDACE SIMULAČNÍHO MODELU



4.4 PLÁNOVANÉ ROZŠÍŘENÍ ZÁSOBNÍKU



4.4.1 MAJORITNÍ BARVA



4.4.2 POJMOVÝ MODEL ROZŠÍŘENÉHO ZÁSOBNÍKU



4.4.3 LOGIKA ŘÍZENÍ ROZŠÍŘENÉHO ZÁSOBNÍKU



4.4.4 SIMULAČNÍ MODEL ROZŠÍŘENÉHO ZÁSOBNÍKU





4.5 VÝSTUP ZE ZÁSOBNÍKU





4.5.1 DYNAMICKÉ PLNĚNÍ ZÁSOBNÍKU

4.5.2 MAXIMÁLNÍ PLNĚNÍ ZÁSOBNÍKU



4.6 EXPERIMENTY



5 SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ

5.1 BAREVNÝ BLOK



5.2 SEŘÍZENÍ NA PRACOVÍŠTI ZA ZÁSOBNÍKEM



5.3 TŘÍDĚNÍ DO VĚTVÍ NA VSTUPU DO ZÁSOBNÍKU



5.4 CELKOVÉ SHRnutí

.



ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvořit simulační model zásobníku na tvorbu barevných bloků v lakovně vrchního laku a v něm otestovat dopad navrhovaných změn. K tomu, aby byl cíl práce splněn, muselo být provedeno několik dalších kroků. Všechny tyto kroky byly provedeny a detailněji jsou popsány v předchozích kapitolách.

V teoretické kapitole této práce jsou zmíněny základní informace o materiálovém toku a dopravní technice používané v automobilovém průmyslu. Část této kapitoly je věnována simulacím a simulačnímu softwaru Plant Simulation.

V třetí kapitole je popsán postup analyzování jak řešené oblasti, tak i získaných dat. Na základě získaných informací jsem provedl analýzu dopravní techniky a logiky řízení zásobníku a následně jsem vytvořil simulační model v softwaru Plant Simulation. Ten jsem úspěšně validoval a verifikoval s již dříve vytvořeným simulačním modelem stejné oblasti v softwaru SimPro. Po takovém zjištění jsem vypracoval simulační model rozšířeného zásobníku a v něm provedl simulační experimenty. Plánované rozšíření zásobníku má pomoci ke zvýšení průměrné velikosti vytvářených barevných bloků.

Pomocí experimentů jsem ověřoval nejvhodnější počet karoserií při obsazování nové majoritní větve z hlediska vytváření barevných bloků. Dále experimenty obnášely sledování změn průchodnosti mezi nájezdovou a majoritní větví a počet seřizování na pracovišti za zásobníkem. Všechny tyto hodnoty mají vliv na rozhodnutí o výhodnosti rozšíření zásobníku. Z experimentů jsem získal výsledky, které vedou k mým závěrům.

Z výsledků je zřejmé, že s navrženým rozšířením bude zásobník v průměru vytvářet větší barevné bloky. V důsledku větších barevných bloků klesne také počet seřízení trysek s barvou na pracovišti za zásobníkem, a vznikne tak úspora času a barvy na tomto úseku. Rozdělení karoserií do dvou větví má dopad na snížení počtu karoserií procházejících nájezdovou větví. Tímto rozdělováním ovšem nedochází k dostatečnému využití majoritní větve. Z pohledu vytváření barevného bloku je plánované rozšíření výhodnější než zachování současného stavu zásobníku. Tím byl naplněn cíl práce.

Další technickou úpravu tohoto zásobníku spatřuji v jeho rozšíření o příčné pásové dopravníky namísto nájezdové větve a jejich případné spojení s pozicemi v majoritní větví. Tím by vzniklo několik dalších pozic v zásobníku a volba barevného bloku by tak probíhala z většího počtu karoserií. Z výše uvedených výsledků lze usoudit, že by vedla k větším barevným blokům.

Z hlediska logiky řízení se naskýtá možnost přidání časového omezení pobytu karoserií v zásobníku. Tím by se omezily velké přesuny karoserií v pořadí denní sekvence. Jelikož se tento zásobník v současné chvíli nezaobírá přerovnáním karoserií v rámci vytvářeného bloku podle sekvenčního čísla, nabízí se varianta rozvíjení logiky řízení v tomto ohledu.

Lze rovněž zlepšit organizaci zadávaných zakázek do systému podle barvy. Taková úprava by mohla vést ke zvýšení barevného bloku již na vstupu do zásobníku. Pro všechny tyto návrhy by musel být vytvořen nový projekt se všemi náležitostmi.



SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Just-in-Time Just-in-Sequence: Industry - Siemens*. SIEMENS. Automation Technology: The complete portfolio for Automation - Siemens [online]. 2013 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.automation.siemens.com/mcms/mes/en/industry/discretemanufacturing/automotiveoem/pages/just-in-time-just-in-sequence.aspx>
- [2] PERNICA, Petr. Logistický management. Teorie a podniková praxe. 1. vyd. Praha: RADIX, 1998, 660 s. ISBN 80-860-3113-6.
- [3] ŠTOČEK, Jiří. Optimalizace materiálového toku ve vybraném průmyslovém závodě. Brno: VUT FSI, 2005, 110 s.
- [4] BIGOŠ, Peter, Juraj RITÓK a Imrich KISS. Materiálové toky a logistika. Vyd. 1. Prešov: Vydavateľstvo Michala Vaška, 2002, 157 s. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 80-716-5362-4.
- [5] ČSN 26 0001. Dopravní zařízení: Názvosloví a rozdělení. Praha: Český normalizační institut, 1989.
- [6] ŠKODA AUTO a.s. Interní materiály. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2014.
- [7] GÜNTHER, Willibald A. Lehrstuhl fml an der TUM. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.fml.mw.tum.de>
- [8] KAŠPÁREK, J. Dopravní a manipulační zařízení. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002.
- [9] VDI 3633. Logistik: Materialfluß., VDI-Gesellschaft Fördertechnik. VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluß Logistik, 1996.
- [10] BANKS ..., Jerry.. Discrete-event system simulation. 5th ed., International version. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education, 2009. ISBN 978-013-8150-372.
- [11] RAIS, Karel. Základy optimalizace a rozhodování. Vyd. 3. Brno: PC-DIR, 1998, 105 s. Studijní text pro studium BA Hons. ISBN 80-214-1212-7.
- [12] HLOSKA, J. Transformace simulačního modelu ze SW SimPro do SW Plant Simulation. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010.
- [13] HAMILTON, John A, David A NASH a Udo W POOCH. Distributed simulation. Boca Raton, Fla.: CRC Press, c1997, 390 p. ISBN 08-493-2590-0.
- [14] Plant Simulation: Siemens PLM Software - ČESKÁ REPUBLIKA. Siemens Česká republika [online]. 2014 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/
- [15] ŠTOČEK, Jiří a Vladimír KARPETA. Uživatelský manuál: Analyzer of production processes (APP). Verze 1.0. Mladá Boleslav, 2010, 69 s.
- [16] FLOURIS, Triant G a Dennis LOCK. Managing aviation projects from concept to completion. Burlington, VT: Ashgate, c2009, xxvi, 500 p. ISBN 07-546-9874-2.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka: Význam:

2D Plošné zobrazení.

APP Software na analyzování dat (Analyzer of production processes).

CTRL Klávesa control.

ČSN Česká státní norma.

D Plánovaný výrobní den v identifikačním čísle.

EB Evidenční bod.

EHB Jedná se o závěs s vlastním pohonem zavěšený na jednokolejné dráze.

FIFO First in first out = první vstoupí, první vystoupí.

FIS Řídicí výrobní systém (Fertigungs-Informationen-und Steuerungssystem).

ID Identifikační číslo.

JIS Just in sequence.

JIT Just in time.

KNR Identifikační číslo karoserie (Kennnummer).

LIFO Last in first out = poslední vstoupí, první vystoupí.

m Metr.

MB Majoritní barva.

mm Milimetr.



Zkratka: Význam:

MS Microsoft.

MUs Pohyblivé objekty.

NULL Nenačtená karoserie.

PPPP Pořadové číslo výrobního dne v identifikačním čísle.

RRRR Výrobní rok v identifikačním čísle.

TPS Druh štítku pro identifikaci karoserie (Tages-Produktion-Schild).

TT Plánovaný výrobní týden v identifikačním čísle.

VW Volkswagen.

ZZ Výrobní závod v identifikačním čísle.

μm Mikrometr.

SEZNAM VELIČIN

Veličina: Jednotka: Význam:

øBB [karoserie] Průměrná velikost barevného bloku.

BB [karoserie] Velikost barevného bloku.

dM_{hmot} [kg] Elementární hmotnostní množství materiálu.

dM_{kus} [ks] Elementární kusové množství materiálu.

dM_{objem} [m³] Elementární objemové množství materiálu.

dt [s] Elementární čas.

I_{hmot} [kg.s⁻¹] Intenzita hmotnostního materiálového toku.

I_{kus} [ks.s⁻¹] Intenzita kusového materiálového toku.

I_{objem} [m³.s⁻¹] Intenzita objemového materiálového toku.

M_{hmot} [kg] Množství materiálu v hmotnosti.

M_{kus} [ks] Množství materiálu v kusech.

M_{objem} [m³] Množství materiálu v objemu.



Veličina: Jednotka: Význam:



SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1: Typy přeprav.....	14
Obrázek 2.2: Vlevo skid a vpravo skid s karoserií	15
Obrázek 2.3: Závěsové dopravníky typu EHB.....	16
Obrázek 2.4: Nastavitelné EHB	16
Obrázek 2.5: Válečková trať	17
Obrázek 2.6: Příčný pásový dopravník	18
Obrázek 2.7: Příčný přesuvný dopravník	19
Obrázek 2.8: Kyvný stůl	20
Obrázek 2.9: Otočný stůl	20
Obrázek 2.10: Dvousloupový (vlevo) a nůžkový (vpravo) zvedák.....	21
Obrázek 2.11: Graf průběhu proměnné ve spojitém a diskrétním simulačním modelu	23
Obrázek 2.12: Základní princip simulace	24
Obrázek 2.13: Validací a verifikační trojúhelník.....	25
Obrázek 2.14: Prostředí Plant Simulation	28
Obrázek 2.15: Ukázka tabulky atributů u prvku pracoviště	29
Obrázek 3.1: Schéma řešené oblasti	33
Obrázek 3.2: Ukázka barevného bloku	36
Obrázek 3.3: Hodnoty velikostí barevného bloku z června 2013 v okolí zásobníku	36
Obrázek 4.1: Schéma řešené oblasti	38
Obrázek 4.2: Pojmový model současného zásobníku	39
Obrázek 4.3: Model současného stavu zásobníku	40
Obrázek 4.4: Tabulka pro zapisování karoserií na jednotlivých pozicích	41
Obrázek 4.5: Tabulka na výběr barevného bloku	42
Obrázek 4.6: Schéma rozšířeného zásobníku	46
Obrázek 4.7: Ukázka výběru šedé majoritní barvy	46
Obrázek 4.8: Separace karoserií podle barvy	47
Obrázek 4.9: Pojmový model plánovaného rozšíření	48
Obrázek 4.10: Tabulka obsazenosti plniče.....	49



Obrázek 4.11: Tabulka pro volbu barevného bloku	51
Obrázek 4.12: Oblast následující za zásobníkem	52
Obrázek 5.1: Průměrné hodnoty velikosti barevných bloků u jednotlivých experimentů	55
Obrázek 5.2: Poměr barevných bloků velikosti 1 ke zbylým velikostem	56
Obrázek 5.3: Sankeyův diagram plánovaného zásobníku.....	58

SEZNAM TABULEK

Tabulka 4-1: Shrnutí výsledku APP pro validaci simulačního modelu - vstup.....	45
Tabulka 4-2: Shrnutí výsledku APP pro validaci simulačního modelu - výstup	45
Tabulka 4-3: Hodnoty vstupních parametrů	54
Tabulka 5-1: Počty seřízení na pracovišti za zásobníkem	57
Tabulka 5-2: Rozdělení karoserií do jednotlivých větví.....	58



SEZNAM PŘÍLOH

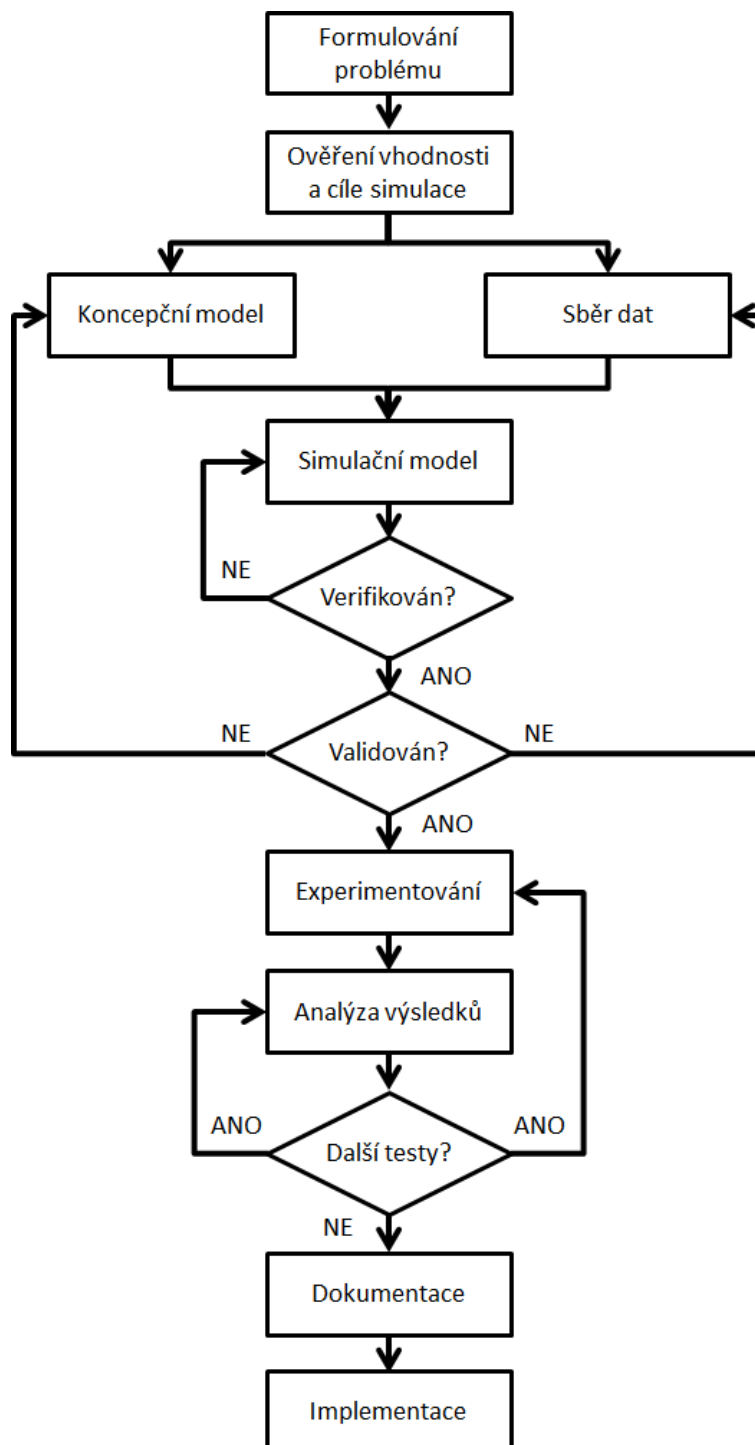
Příloha 1: Vývojový diagram vytváření simulačního modelu	I
Příloha 2: Blokové schéma části lakovny vrchního laku	II
Příloha 3: Ovládací prostředí simulačního modelu pro obě verze	III
Příloha 4: Důležité body v logice řízení obou stavů	IV
Příloha 5: Vývojový diagram metody v bodě I	V
Příloha 6: Vývojový diagram řídicí metody u Současného stavu	VI
Příloha 7: Vývojový diagram metody v bodě II	VII
Příloha 8: Vývojový diagram metody v bodě III	VIII
Příloha 9: Vývojový diagram metody na výstupu ze zásobníku	IX
Příloha 10: Analýza velikosti bloku pro validaci simulačního modelu v Plant Simulation se simulačním modelem v SimPro na EB – Vstup do zásobníku	X
Příloha 11: Analýza velikosti bloku pro validaci simulačního modelu v Plant Simulation se simulačním modelem v SimPro na EB – Výstup ze zásobníku	XI
Příloha 12: Simulační model Plánovaného rozšíření	XII
Příloha 13: Vývojový diagram metody na vstupu u Plánovaného stavu	XIII
Příloha 14: Vývojový diagram metody v bodě IV u Plánovaného stavu	XIV
Příloha 15: Vývojový diagram řídicí metody u Plánovaného stavu	XV
Příloha 16: Ganttův diagram procesů probíhajících za zásobníkem	XVI
Příloha 17: Analýza velikosti bloku na vstupu do zásobníku – Realita	XVII
Příloha 18: Analýza velikosti bloku na výstupu ze zásobníku – Realita	XVIII
Příloha 19: Analýza velikosti bloku na výstupu – Simulační model současného stavu	XIX
Příloha 20: Analýza velikosti bloku na výstupu – 6 karoserií v majoritní větvi	XX
Příloha 21: Analýza velikosti bloku na výstupu – 7 karoserií v majoritní větvi	XXI
Příloha 22: Analýza velikosti bloku na výstupu – 8 karoserií v majoritní větvi	XXII
Příloha 23: Analýza velikosti bloku na výstupu – 9 karoserií v majoritní větvi	XXIII
Příloha 24: Analýza velikosti bloku na výstupu – 10 karoserií v majoritní větvi	XXIV
Příloha 25: Analýza velikosti bloku na výstupu – 11 karoserií v majoritní větvi	XXV
Příloha 26: Analýza velikosti bloku na výstupu – 12 karoserií v majoritní větvi	XXVI
Příloha 27: Analýza velikosti bloku na výstupu – 13 karoserií v majoritní větvi	XXVII



PŘÍLOHY

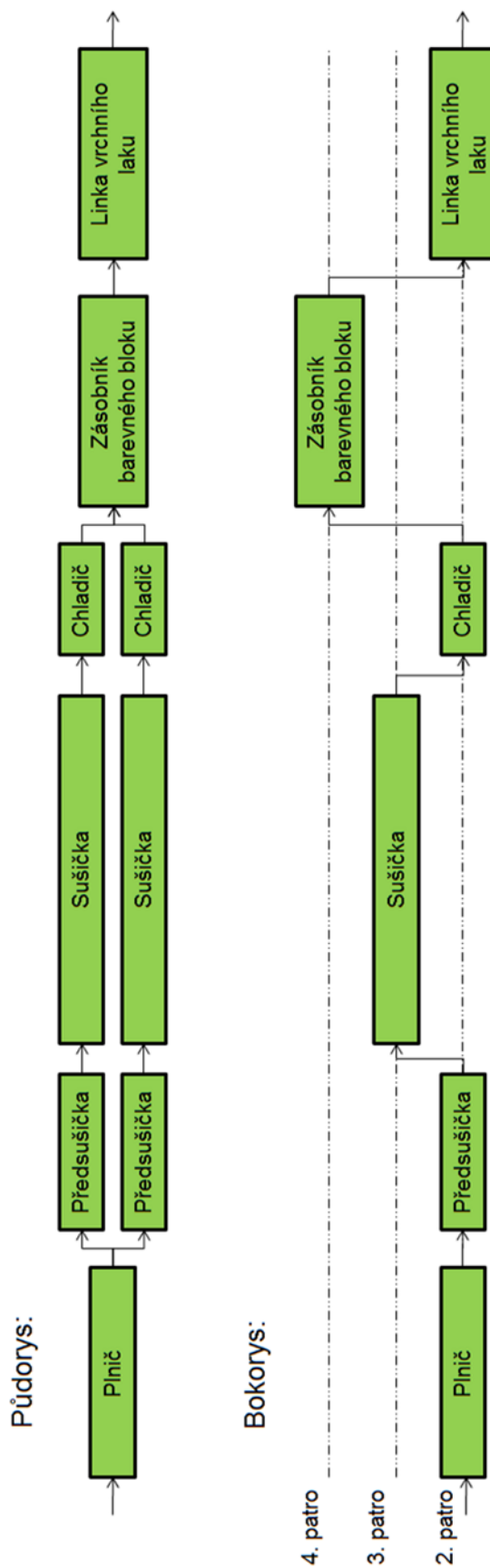
Příloha 1: Vývojový diagram vytváření simulačního modelu

[zdroj: vlastní, převzato z [10]]





Příloha 2: Blokové schéma části lakovny vrchního laku
[zdroj: vlastní, převzato z [6]]





*Příloha 3: Ovládací prostředí simulačního modelu pro obě verze
[zdroj: simulační model v Plant Simulation]*



Příloha 4: Důležité body v logice řízení obou stavů
[zdroj: vlastní]



Příloha 5: Vývojový diagram metody v bodě I
[zdroj: vlastní]



Příloha 6: Vývojový diagram řídicí metody u Současného stavu
[zdroj: vlastní]



Příloha 7: Vývojový diagram metody v bodě II
[zdroj: vlastní]



Příloha 8: Vývojový diagram metody v bodě III
[zdroj: vlastní]



Příloha 9: Vývojový diagram metody na výstupu ze zásobníku
[zdroj: vlastní]



*Příloha 10: Analýza velikosti bloku pro validaci simulačního modelu v Plant Simulation se
simulačním modelem v SimPro na EB – Vstup do zásobníku
[zdroj: aplikace APP]*



*Příloha 11: Analýza velikosti bloku pro validaci simulačního modelu v Plant Simulation se
simulačním modelem v SimPro na EB – Výstup ze zásobníku
[zdroj: aplikace APP]*



Příloha 12: Simulační model Plánovaného rozšíření
[zdroj: simulační model v Plant Simulation]



Příloha 13: Vývojový diagram metody na vstupu u Plánovaného stavu
[zdroj: vlastní]



Příloha 14: Vývojový diagram metody v bodě IV u Plánovaného stavu
[zdroj: vlastní]



Příloha 15: Vývojový diagram řídicí metody u Plánovaného stavu
[zdroj: vlastní]



Příloha 16: Ganttův diagram procesů probíhajících za zásobníkem
[zdroj: vlastní]



Příloha 17: Analýza velikosti bloku na vstupu do zásobníku – Realita
[zdroj: aplikace APP]



Příloha 18: Analýza velikosti bloku na výstupu ze zásobníku – Realita
[zdroj: aplikace APP]



Příloha 19: Analýza velikosti bloku na výstupu – Simulační model současného stavu
[zdroj: aplikace APP]



Příloha 20: Analýza velikosti bloku na výstupu – 6 karoserií v majoritní větvi
[zdroj: aplikace APP]



Příloha 21: Analýza velikosti bloku na výstupu – 7 karoserií v majoritní větvi
[zdroj: aplikace APP]



Příloha 22: Analýza velikosti bloku na výstupu – 8 karoserií v majoritní větvi
[zdroj: aplikace APP]



Příloha 23: Analýza velikosti bloku na výstupu – 9 karoserií v majoritní větvi
[zdroj: aplikace APP]



Příloha 24: Analýza velikosti bloku na výstupu – 10 karoserí v majoritní větvi
[zdroj: aplikace APP]



Příloha 25: Analýza velikosti bloku na výstupu – 11 karoserií v majoritní větvi
[zdroj: aplikace APP]



Příloha 26: Analýza velikosti bloku na výstupu – 12 karoserií v majoritní větvi
[zdroj: aplikace APP]



Příloha 27: Analýza velikosti bloku na výstupu – 13 karoserií v majoritní větvi
[zdroj: aplikace APP]